

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación
Departamento de Didáctica

11
1992
204



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE



5314054311

121024590

**ANALISIS DE PROBLEMAS
EXPERIMENTADOS POR LOS ALUMNOS
DEL ULTIMO CURSO DE EDUCACION
SECUNDARIA EN EL APRENDIZAJE DE
LA FISICA.
ESTUDIO DE CUATRO GRUPOS DEL
BACHILLER EXPERIMENTAL.
ALGUNAS PERSPECTIVAS DIDACTICAS**



José Jesús Vera Blanco
Madrid, 1992

Colección Tesis Doctorales. N.º 204/92

© José Jesús Vera Blanco

Edita e imprime la Editorial de la Universidad
Complutense de Madrid. Servicio de Reprografía.
Escuela de Estomatología. Ciudad Universitaria.
Madrid, 1992.

Ricoh 3700

Depósito Legal: M-25117-1992

616427038



La Tesis Doctoral de D. José Jesús VERA BLANCO

Titulada *Análisis de problemas experimentados por los alumnos del último curso de Educación Secundaria en el aprendizaje de la Física. Estudio de cuatro grupos del Bachiller Experimental, Algunas perspectivas didácticas*

Director Dr. D. Félix González Jiménez
fue leída en la Facultad de Educación

de la UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, el día 5 de noviembre de 1991, ante el tribunal

constituido por los siguientes Profesores:

PRESIDENTE Antonio Fernández-Rañada y Menéndez de Larca
VOCAL Miguel Fernández Pérez
VOCAL Concepción Velazquez Alvarez
VOCAL Félix Sepúlveda Barrios
SECRETARIO José M^a García Asenjo

habiendo recibido la calificación de *Aprobado*
Summa (por unanimidad)

Madrid, a 5 de Noviembre de 1991.

EL SECRETARIO DEL TRIBUNAL.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FILOSOFIA Y CIENCIAS DE LA EDUCACION

Departamento de Didáctica

Tesis doctoral

ANALISIS DE PROBLEMAS EXPERIMENTADOS POR LOS ALUMNOS DEL
ULTIMO CURSO DE EDUCACION SECUNDARIA EN EL APRENDIZAJE DE LA
FISICA.
ESTUDIO DE CUATRO GRUPOS DEL BACHILLER EXPERIMENTAL.
ALGUNAS PERSPECTIVAS DIDACTICAS.

Autor: José Jesús Vera Blanco

Director de Tesis: Prof. Dr. D. Félix E. González Jiménez

SUMARIO

	pág.
0. <u>INTRODUCCION</u>	1
0.1. Consideraciones iniciales	1
0.2. Circunstancias que motivaron el trabajo	2
0.3. Diferentes posibilidades en las hipótesis de partida	4
0.4. Líneas relevantes en la investigación de la didáctica de las ciencias	6
0.5. El terreno elegido para la tesis	7
0.6. El enfoque del trabajo	10
1. <u>DISCUSION Y ACLARACION DEL MARCO CONCEPTUAL:</u> <u>FISICA Y APRENDIZAJE</u>	13
1.1. LA FISICA	13
1.1.1. Características de la Física por ser disci- plina científica	14
1.1.1.1. Disciplinas y comunidades disciplinales	14
1.1.1.2. Ciencia y disciplinas científicas	16
1.1.2. Implicaciones para los proyectos didácticos	20
1.1.3. La Física como asignatura del último curso de enseñanzas medias	22
1.1.3.1. El papel de la selectividad	23
1.1.3.2. Directrices del M.E.C. respecto a la asig- natura	28
1.1.3.3. Las características de los exámenes de se-	

lectividad	34
1.1.3.4. Relación de los exámenes de selectividad con los objetivos propuestos	39
1.2. EL APRENDIZAJE	43
1.2.1. Marco de referencia	45
1.2.2. Criterios adoptados para determinar el avance en el conocimiento	51
2. <u>CONSIDERACIONES METODOLOGICAS</u>	58
2.1. MARCO GENERAL DE REFERENCIA	58
2.1.1. La situación actual	58
2.1.1.1. Los cambios	59
2.1.1.2. Fluidez en lenguaje y categorías	62
2.1.2. Sistema de referencia	65
2.2. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS	72
2.2.0. Por qué se han utilizado preferentemente mé- todos cualitativos	72
2.2.1. Realización simultánea de enseñanza e in- vestigación	76
2.2.2. Procedimientos de observación	83
2.2.3. Estudio de los materiales escritos por los alumnos	92
2.2.4. Entrevistas	99
2.2.5. Intercambios con los compañeros	104
3. <u>TRABAJO DE CAMPO</u>	107

3.1. NATURALEZA Y ENTORNO DE LOS GRUPOS ESTUDIADOS	108
3.1.1. Composición de los grupos	109
3.1.2. El entorno de los grupos	111
3.1.2.1. Marco en que se desenvuelve el centro .	112
3.1.2.2. Organización del equipo educativo . .	115
3.1.2.3. Recursos	118
3.2. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS ALUMNOS	
RELACIONADAS CON EL APRENDIZAJE	120
3.2.1. Expectativas respecto al profesor . . .	122
3.2.1.1. Clasificación de las respuesta a la en-	
cuesta	123
3.2.1.2. Reflexión sobre las respuestas . . .	127
3.2.2. Motivación e interés por la asignatura .	133
3.2.3. Hábitos de trabajo	139
3.2.3.1. Utilización del material escrito . . .	139
3.2.3.2. Constancia de ritmo en el trabajo . .	143
3.2.3.3. Realización del trabajo aisladamente o	
en equipo	146
3.2.3.4. Conducta en el laboratorio	149
3.2.4. Cómo ven los alumnos algunas dificultades	
experimentadas por ellos	150
3.3. COMPETENCIA TERMINOLOGICA DE LOS ALUMNOS .	154
3.3.0. Terminología: algunas precisiones , . .	156
3.3.1. Problemas de terminología en los grupos	
A87 y B87	163
3.3.1.1. Clasificación de las respuestas . . .	165

3.3.1.2. Discusión de las respuestas	168
3.3.1.2.1. Nivel de actuación de los alumnos	169
3.3.1.2.2. Estudio comparativo de los términos	174
3.3.1.2.3. Avances y retrocesos	176
3.3.2. Problemas de terminología en los grupos A88 y B88	179
3.3.2.1. Clasificación de las respuestas	183
3.3.2.2. Discusión de las respuestas	187
3.3.2.2.1. Nivel de actuación de los alumnos	187
3.3.2.2.2. Estudio comparativo de los distintos items	191
3.3.2.2.3. Avances y retrocesos	193
3.3.3. Interpretación y comentarios respecto a los problemas de terminología	208
3.3.3.1. La escasa competencia terminológica	211
3.3.3.2. Las pautas de variabilidad en la compe- tencia terminológica	227
3.3.3.3. Diferencias entre los distintos items	240
3.3.4. Apéndice: la utilización de las Matemáticas	252
3.3.4.0. Limitaciones a la generalización	254
3.3.4.1. Deficiencias matemáticas detectadas	256
3.3.4.1.1. Deficiencias en el cálculo	257
3.3.4.1.2. Deficiencias en la codificación	258
3.3.4.1.3. Deficiencias en la aplicación	260
3.3.4.1.4. Ignorancia conceptual	261
3.3.4.2. Contribución de las dificultades matemá- ticas a los problemas de aprendizaje	264

3.3.4.2.1. Influencia en la resolución de ejercicios numéricos	264
3.3.4.2.2. Exposición y comprensión de las teorías	267
3.3.4.2.3. Comprensión de conceptos físicos	268
3.3.4.3. Posibles caminos de solución	269
3.4. RESOLUCION DE PROBLEMAS	272
3.4.0. Marco de referencia	272
3.4.0.1. Problemas y resolución de problemas	272
3.4.0.2. Las pautas seguidas	275
3.4.1. Pautas de los grupos A87 y B87 en lo que afecta a la resolución de problemas	280
3.4.1.1. Clasificación de las cuestiones y de las respuestas	280
3.4.1.2. Reflexiones sobre la actuación global de los alumnos	289
3.4.1.3. Pautas observadas en las cuestiones que obtienen peores resultados	294
3.4.1.3.1. Campos gravitatorio y eléctrico	294
3.4.1.3.2. Movimiento ondulatorio	302
3.4.1.3.3. Transferencia de conocimientos a situaciones nuevas	304
3.4.1.3.4. Otras cuestiones	307
3.4.1.4. Indicaciones sobre el grado de dificultad que experimentan los alumnos	308
3.4.2. Pautas de los grupos A88 y B88 en lo que afecta a la resolución de problemas	313
3.4.2.0. Modificaciones en el proyecto didáctico	

y su desarrollo	313
3.4.2.1. Clasificación de las cuestiones y de las respuestas	315
3.4.2.2. Reflexión sobre la actuación global de los alumnos	316
3.4.2.3. Pautas observadas en las cuestiones que obtuvieron peores resultados	322
3.4.2.3.1. Campos gravitatorio y eléctrico	323
3.4.2.3.2. Movimiento armónico simple	326
3.4.2.3.3. Movimiento ondulatorio	328
3.4.2.3.4. Elasticidad	330
3.4.2.3.5. Condensadores	332
3.4.2.3.6. Circuitos de corriente continua	333
3.4.2.4. Indicaciones sobre el grado de dificultad que experimentan los alumnos	335
3.4.3. Comparación entre las promociones del año 87 y del año 88	337
3.4.3.1. Analogías en las respuestas a las cues- tiones con menor éxito	337
3.4.3.2. Diferencias en las respuestas a las cues- tiones con menor éxito	338
3.4.3.3. Comparación, teniendo en cuenta los resul- tados medios para la totalidad de las cuestiones	340
3.4.3.4. Algunas pautas de error repetidas en ambas promociones	344

4. <u>SUGERENCIAS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO</u>	
<u>DE LOS PROYECTOS DIDACTICOS.</u>	349
4.1. Los tres niveles del curriculum	349
4.2. Alcance de las sugerencias	353
4.3. Obligatoriedad de la Física y diversificaciones en su curriculum	355
4.4. ¿Extensión o intensidad?	359
4.5. Pautas para la selección y secuenciación de contenidos temáticos	364
4.6. Algunas sugerencias metodológicas	368
4.7. Condiciones de acceso para poder cursar la asignatura	374
4.8. La selectividad	377
4.9. Una última consideración	381
5. <u>AGRADECIMIENTOS</u>	383
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</u>	385
<u>ANEXO I:</u> Encuesta pasada a los alumnos a principios de curso	397
<u>ANEXO II:</u> Lista de términos/conceptos que se supone deben ser conocidos por los alumnos al ter- minar sus estudios de Física en el nivel de Enseñanzas Medias	401

<u>ANEXO</u> III: Cuestiones propuestas a los alumnos en los diversos exámenes	407
---	-----

0. INTRODUCCION

0.1. Consideraciones iniciales

Durante muchos años de trabajo en las enseñanzas medias he podido constatar que los alumnos de Física encontraban bastantes dificultades en el aprendizaje de los temarios, sobre todo del correspondiente al último curso de dichas enseñanzas. Por otra parte, veía que las calificaciones obtenidas en Física eran, con frecuencia, inferiores a las conseguidas por los alumnos en otras asignaturas. El problema, además, no era sólo de mis alumnos; pude apreciar también que bastantes compañeros de profesión tenían apreciaciones coincidentes con las que acabo de indicar.

Una ojeada a lo publicado en relación con el tema hace pensar que el problema está relativamente extendido. Basten algunos testimonios. Aguirre de Cárcer (1983) afirma: "El aprendizaje de la física resulta una tarea difícil para la mayoría de los alumnos que se ven obligados a cursarla. El porcentaje de suspensos en esta asignatura es, además, bastante elevado" (l.c. pg. 92). El problema no sólo se detecta en España. Desde la República Federal de Alemania, escribe Fischler (1989): "Las primeras lecciones que enseñan los profesores en formación parecen confirmar el punto de vista al que han llegado a través de su propia formación

escolar: el aprender física es algo que exige y a lo que no pueden hacer frente todos los alumnos con intereses y capacidad de tipo medio" (l.c. pg. 190). Por lo que respecta a los EE. UU., Roper (1989) indica: "Hemos luchado pedagógicamente con los muchachos que vinieron al curso por razones incomprensibles, fracasando tempranamente y con frecuencia. Los alumnos acabaron en general o abandonando la clase o fracasando académicamente" (l.c. pg. 26). Finalmente, Logan et al. (1989) informan que en Australia, en la Universidad de Wollongong, los fracasos en Física durante el primer curso en la universidad supusieron el 40 % de los casos en 1983 y se han mantenido alrededor de esa cifra en los años siguientes. Aunque la última cita se refiere al primer curso de estudios universitarios y no al último de la enseñanza secundaria, es también ilustrativa.

0.2. Circunstancias que motivaron el trabajo

En 1985, a los dos años de haber comenzado la reforma de las EE. MM., con un primer ciclo experimental inmediatamente posterior al 8º de EGB, iniciaban su andadura, de forma experimental también, los nuevos bachilleratos, uno de los cuales era el Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza. Los programas oficiales incluían una asignatura, Física y Química, a cursar durante el primer año y dos asignaturas -Física, por una parte, y Química, por otra- a cursar durante el segundo. En éste, correspondiente

al COU actual, la Física se prescribía como obligatoria para todos los alumnos.

Desde el primer momento estuve muy interesado en lo concerniente a la Física en este plan experimental y sobre todo en la asignatura, Física, del segundo año (último de las EE. MM.). Sin duda, la reforma buscaba mejoras sustanciales en el sistema educativo; por mi parte, tenía gran interés en comprobar si las modificaciones introducidas en el plan suponían realmente una mejora sustancial o, al menos, algún tipo de remedio a los males que había constatado durante muchos años. Pero había algo más. Veía que el proyecto de reforma manifestaba sensibilidades distintas a lo habitual en lo referente a métodos didácticos y a tener en cuenta el proceso del alumno; veía también que los resultados del plan experimental podrían influir en la Administración educativa a la hora de pasar de la fase provisional a la fijación de una normativa más duradera. Por eso pensé que valía la pena implicarse no sólo en el programa experimental, sino también en un trabajo de investigación realizado desde la tarea docente.

A principios del curso 86/87 comenté estas inquietudes con el Dr. D. Félix González. El me animó a continuar en el camino que estaba vislumbrando y me sugirió la idea de hacer una tesis doctoral sobre el tema. Así comenzó a tomar cuerpo algo que cristalizaría en el trabajo que ahora se presenta.

0.3. Diferentes posibilidades en las hipótesis de partida

Cuando uno se plantea el problema de los malos resultados en Física, son muchas las hipótesis que pueden formularse, de manera razonable, para explicar las calificaciones bajas de los alumnos y sus dificultades en el aprendizaje o, al menos, uno u otro de estos fenómenos. Basten estos ejemplos.

(i) Pudiera ocurrir, en efecto, que los profesores de Física fueran, al calificar, más estrictos y exigentes que sus colegas de otras asignaturas. En este caso, las calificaciones más bajas, correspondientes a Física, reflejarían no tanto una actuación de peor calidad de los alumnos cuanto un juicio de los profesores menos favorable para actuaciones normales.

(ii) Exista la posibilidad de que los alumnos encuentren la asignatura aburrida, de que la vean desconectada de lo que suponen va a ser su vida profesional, de que sientan un rechazo especial por ella, debido a experiencias desagradables tempranas, quizás del tiempo de EGB, en que posiblemente abordaron la asignatura de una manera formalizada, abstracta y totalmente desadaptada a su etapa de desarrollo mental. No cabe duda de que todo esto influiría en la motivación del alumno y, a través de ella, en el rendimiento.

(iii) Pudiera suceder también que el programa de Física correspondiente al último curso de EE. MM. -el nivel que se tiene en cuenta a lo largo del trabajo- presentara problemas innecesarios y evitables, bien porque se hubieran seleccionado los temas de una forma poco adaptada al nivel del alumno medio, bien porque la secuenciación seguida no fuera la más indicada.

(iv) Pudiera suceder, igualmente, que los programas presentaran dificultades desproporcionadas a lo que puede conseguir un alumno medio, por el mero hecho de ser muy amplios. Esto obligaría a llevar un ritmo demasiado rápido en la presentación y elaboración de los temas, con la consecuencia de que los alumnos no tendrían tiempo suficiente para su asimilación.

(v) Es posible que los profesores de Física, debido a los condicionamientos que les impone el entrenamiento específico en su disciplina y en su quehacer como físicos, encontraran dificultades especiales para enseñar a adolescentes que aún no están muy habituados al pensamiento abstracto y al rigor científico.

(vi) Por supuesto, tampoco puede excluirse el que la dificultad radique en la misma disciplina, quizás por los niveles de abstracción en que se mueve, el grado de sistematización de que está dotada y el lenguaje altamente formalizado en que se expresa.

0.4. Líneas relevantes en la investigación de la didáctica de las ciencias

Se han señalado, a modo de ejemplo, seis hipótesis, pero la realidad es que en ningún caso se podría partir de cero al estudiar su plausibilidad. El campo de la investigación interesada en la didáctica de las ciencias en general, y de la Física en particular, ha extendido considerablemente sus horizontes desde los años 60, ha ampliado la gama de sus procedimientos e incluso ha experimentado cambios de énfasis, sobre todo en las dos últimas décadas. En el capítulo dedicado a la metodología se tratará con más detalle el último aspecto; por el momento baste reseñar algunas de las líneas de investigación más importantes.

Eylon et al. (1988) hacen una amplia revisión de la investigación contemporánea en la que se refieren a unos 220 trabajos, publicados en inglés o traducidos a esa lengua, aunque no todos ellos de autores de habla inglesa. En su recensión, identifican cuatro líneas o perspectivas: la primera, relacionada con el aprendizaje de los conceptos; la segunda, con el desarrollo evolutivo; la tercera, con las diferencias individuales en aptitudes y su interacción con la enseñanza; la cuarta, con la resolución de problemas. De estas cuatro líneas, la primera y la última son, sin duda, las que cuentan con mayor número de publicaciones revisadas

en el mencionado trabajo. Los autores de la revisión afirman explícitamente que, en su exposición, han elegido trabajos representativos: "Los trabajos fueron seleccionados para ilustrar las tendencias más importantes - se podrían haber elegido otros" (l.c. pg. 253).

Sin embargo, las cuatro líneas mencionadas, con ser importantes, no abarcan todo lo que se hace en el campo de la investigación. Se trabaja también desde otras perspectivas. Dentro de éstas pueden incluirse las líneas de investigación que se preocupan por las innovaciones y por el curriculum -como indica, por ejemplo, Tiberghien (1983)-, por la evaluación -como informan Moreira et al. (1988), por ejemplo-, por los modelos y métodos didácticos -véase, como ejemplo, Gil Pérez (1983 y 1986) o Carrascosa et al. (1985)- por los rasgos del profesor modélico -por ejemplo, Tobin et al. (1989 y 1990)-, etc.

0.5. El terreno elegido para la tesis

La investigación que se centra en el alumno es especialmente interesante para quien se dedica a la enseñanza, porque le ayuda a comprender mejor las situaciones y a perfeccionar su quehacer profesional. Desde hacía tiempo me había atraído esa faceta. Ese tipo de investigación permite también comprobar si los planes educativos están adaptados a la realidad del alumno. El

estar implicado en un plan experimental, añadía un interés especial por comprobar si el plan que presentaba la Administración iba a suponer realmente una mejoría. Así, pues, los dos centros de interés resultaban complementarios.

Se va extendiendo la idea de que, para decidir lo que debe enseñarse, no se pueden perder de vista tres campos de conocimiento: (1) estudios acerca de los alumnos; (2) estudios de la vida contemporánea fuera de la escuela; y (3) sugerencias por parte de los especialistas en la materia que se desea enseñar. Si se acepta esta división tripartita, el trabajo que ahora se presenta habría que localizarlo principalmente dentro del primer campo; se decidió, en efecto, centrar la investigación en las dificultades de aprendizaje que ofrecía la Física, tal como estaba programada, a los alumnos del último curso de EE. MM. Pero hay que matizar esto: la preocupación principal no era aclarar puntos concretos de la psicología del aprendizaje, sino estudiar los problemas que plantean a la didáctica unas determinadas dificultades de aprendizaje.

Tanner et al. (1980), al hablar de las fuentes del currículum, advierten: "Si estas fuentes se tratan como meros componentes, y no como factores que interactúan orgánicamente en el desarrollo del currículum, su tratamiento tiende a ser mecánico con frecuencia y la tarea del desarrollo curricular tiende a ser considerada como puramente tecnológica... Además, las así llamadas 'fuentes'

no son meramente fuentes, sino que son también influencias que afectan no sólo a los objetivos educacionales, sino también a la estructura y al contenido del curriculum per se" (l.c. pg. 86). Los autores citados retoman esta última idea más adelante en su obra: "Otro punto débil en el esquema de Tyler es el tratamiento de la sociedad, del alumno y del saber organizado como datos mientras que deja de lado el tratar esto como cosas que influyen en los objetivos educacionales y en el curriculum" (l.c. pg. 142).

Se han transcrito con detalle las citas anteriores porque expresan con claridad unos presupuestos básicos que han presidido la elaboración de este trabajo y precisan la aplicabilidad de sus conclusiones. Se ha supuesto, en efecto, que el estudio de las dificultades de aprendizaje de la Física no debe tener, como única finalidad, el hacer más digeribles los proyectos didácticos ya elaborados a partir de las recomendaciones de los físicos y de las exigencias de la sociedad. Las dificultades de los alumnos -así, al menos, se ha pensado- plantean un reto a los especialistas en la materia quienes quizás tendrán que proponerse una nueva selección y articulación de contenidos, métodos, lenguaje, etc., compatibles, a la vez, con las exigencias de la disciplina y con las posibilidades de asimilación de los alumnos. Análogamente, las dificultades de aprendizaje de los alumnos son -así se ha creído- una llamada de atención a la sociedad, que quizás tenga que revisar lo que exige para la formación de los futuros profesionales, a fin de hacerlo

coherente con lo que demanda la disciplina académica y con lo que permiten las capacidades reales de los alumnos.

El trabajo, de todas formas, está situado dentro de una corriente de investigación en la enseñanza de las ciencias, que pone un marcado énfasis en el sujeto de aprendizaje. "La mayoría de los esfuerzos curriculares -escribe Fensham (1983)- en materia de enseñanza de las ciencias durante las dos últimas décadas se han basado en una secuencia del proceso de instrucción de la forma siguiente... (sujeto de aprendizaje) + instrucción adecuada --> Resultados deseados en materia de enseñanza de las ciencias... Los diseñadores del curriculum han dejado aparte al sujeto de aprendizaje y a sus atributos... Sin embargo, estudios más recientes han dado lugar a un conjunto de descubrimientos, cada vez mayor, que nos exigen cuestionar los presupuestos acerca de los procesos básicos de la enseñanza de las ciencias. Estos descubrimientos no son noveles o recientes. Ellos (u otros semejantes a ellos) han debido de estar a disposición de generaciones de maestros que estaban dispuestos a escuchar a sus alumnos y que eran capaces de hacerlo" (l.c. pg. 3-4).

0.6. El enfoque del trabajo

Aun reduciendo la perspectiva a los problemas de aprendizaje y con la intención de extraer sugerencias que pudieran ayudar a mejorar los proyectos didácticos, era

necesario elegir entre varias posibilidades. Se podría haber tomado como objeto de estudio algún punto muy concreto; pero la oportunidad de comenzar la andadura de un nuevo plan de estudios no se presenta todos los días y la comprobación de las ventajas de ese plan aconsejaba mantener un frente de investigación relativamente amplio. Los puntos de partida eran éstos: se suponía que los conceptos de la Física propuestos al estudio de los alumnos se encontraban en diversos niveles de dificultad; se suponía, asimismo, que podrían averiguarse características de esos niveles al estudiar comparativamente la actuación de los alumnos en lo que respecta a su comprensión de los conceptos y a la aplicación de los mismos. Se esperaba, finalmente, que sería posible formular sugerencias bien fundamentadas para la selección de objetivos y contenidos en el curriculum -con la consiguiente corrección o reafirmación de las propuestas del plan experimental de la Administración- si se combinaban los resultados del estudio comparativo, al que antes se aludía, con los datos procedentes de una observación detallada de otros factores tales como la motivación de los alumnos, sus expectativas sobre la asignatura y el profesor, sus hábitos de trabajo, sus necesidades educativas, etc.

Comprendo que un tipo de investigación así, en la que abunda lo descriptivo, puede parecer menos "noble", como dice Tiberghien (1983), a los investigadores procedentes de una disciplina como la Física, con un alto grado de formalización y una tradición investigadora de siglos. "Sin

embargo -son también palabras de Tiberghien- resulta necesario pasar por esta etapa de búsqueda de hipótesis. En efecto, es importante no encerrarse inicialmente en hipótesis demasiado rígidas pues ello conduce a resultados muy pobres en que no pueden apoyarse investigaciones ulteriores" (l.c. pg. 188). Lo cierto es que la realización del trabajo que ahora se presenta me ha ayudado a comprender mejor por qué fracasaban mis alumnos y me ha dado pautas para conocer mejor cuáles han sido algunas de las dificultades que han experimentado.

1. DISCUSION Y ACLARACION DEL MARCO CONCEPTUAL: FISICA Y APRENDIZAJE

Hay dos términos que se usan con frecuencia en este trabajo: "Física" y "aprendizaje". Ninguno de ellos es unívoco. Por eso conviene indicar algunos, al menos, de los significados que se les atribuyen a fin de que el uso de dichos términos no presente problemas en los diferentes contextos. La aclaración de significados servirá a veces para hacer aflorar problemas relacionados con ellos.

1.1. LA FISICA

En determinados ambientes se suele utilizar el término "Física" para hacer referencia a los conocimientos y habilidades propios de la disciplina. En el contexto de la didáctica, al hablar de Física se pueden entender dos cosas: (i) una disciplina científica; (ii) una asignatura que se cursa. La distinción entre ambas cosas delimita y esclarece las perspectivas desde las que se debe abordar la elaboración y el desarrollo de los proyectos didácticos que aquí nos interesan.

1.1.1. Características de la Física por ser disciplina científica

1.1.1.1. Disciplinas y comunidades científicas

Un análisis, incluso muy somero, de la vida cultural de las sociedades modernas, sobre todo de las técnicamente avanzadas, permite aislar tres fenómenos relacionados entre sí. En efecto:

(i) Es posible identificar determinados cuerpos de conocimientos -conjuntos de conceptos, teorías, etc.- organizados, sistematizados y relacionados con un sector de lo cognoscible. Esos cuerpos están indisolublemente ligados a un conjunto de procedimientos que son los que se consideran legítimos en las tareas de elaborar y justificar el conocimiento.

(ii) Existen colectividades, grupos de personas, cuya actividad profesional está relacionada con los mencionados cuerpos de conocimientos. La relación puede ser de distintos tipos. Se trata unas veces, por ejemplo, de la revisión y crítica del cuerpo de conocimientos; otras, de actividades encaminadas a aumentarlos por medio de la integración de nuevas informaciones o elaboraciones conceptuales; otras, de la aplicación de esos conocimientos a la solución de

problemas que presenta el entorno físico o humano; otras, de la formación de quienes desean ser miembros de la colectividad como nuevos profesionales.

(iii) A pesar de la diversidad de relaciones entre los miembros del colectivo profesional y el cuerpo de conocimientos, aquéllos tienen en común unos rasgos característicos tales como: (a) competencia en lo que respecta al campo de conocimientos, es decir, familiarización con el mismo, capacidad para aplicarlo a la resolución de problemas concretos, dominio de las técnicas, al menos de las más frecuentes, por las que se elabora y aplica el conocimiento y capacidad de valorar lo que hacen otros miembros de la colectividad; (b) convicciones compartidas que afectan al campo de los conocimientos -por ejemplo, discernimiento de cuestiones pertinentes o improcedentes, tipos de información que son integrables o no, etc.-, a los procesos relacionados con la elaboración y justificación de los conocimientos -métodos, presupuestos válidos, etc.- y a la forma de valorar conocimientos y procesos relacionados con ellos.

Llamaremos "disciplina" al cuerpo de conocimientos, junto con los procedimientos, actitudes y valoraciones que intervienen en su elaboración o modificación. A la colectividad descrita en los párrafos anteriores se le llamará "comunidad disciplinal". Disciplina y comunidad disciplinal son, pues, términos que se complementan. Aunque

los conceptos a que se refieren parecen claros y están apoyados por un conjunto amplio de fenómenos observables, ni las disciplinas ni las comunidades disciplinares tienen límites nítidos y rígidos. Baste un ejemplo para confirmarlo: La Química Física (o la Física Química) ¿a qué disciplina pertenece? ¿A la Química? ¿A la Física? ¿A ninguna de las dos, por ser ella misma una auténtica disciplina? Y, si se opta por dar una respuesta afirmativa al último interrogante, ¿por dónde se trazan los límites entre ella y la Física o la Química? En general, en el proceso de especialización por el que se forman muchas veces las nuevas disciplinas, influyen, con frecuencia, contingencias históricas y no sólo distribuciones a priori del campo de los conocimientos.

1.1.1.2. Ciencia y disciplinas científicas

Nadie duda de que la Física es una disciplina científica. El profundizar más en lo que ello supone, sobre todo por lo que toca a la característica de científica, ayudará a perfilar más el marco conceptual.

(i) McTaggart (1983) resume así el pensamiento de Schwab por lo que respecta a las disciplinas científicas: "En primer lugar, la ciencia es un campo de estudio potencial que está separado simbólicamente del resto del mundo y dotado de nociones que le hacen accesible como

materia de investigación. Resulta entonces evidente 'cuáles son las cuestiones que se pueden preguntar, qué datos hay que buscar para responder a esas cuestiones y cómo interpretar los datos'. Esto constituye la disciplina de investigación. Una ciencia establecida tiene otras dos características más, conocimiento de la materia y una comunidad de investigadores (l.c., pg. 11).

(ii) Kuhn (1981), como es sabido, hace unas reflexiones profundas sobre la naturaleza de la ciencia, apoyándose bastante en el proceso histórico experimentado por este quehacer humano. En su obra es importante la utilización que hace del concepto de "paradigma", un concepto que el mismo Kuhn se ve obligado a delimitar y precisar en trabajos ulteriores. Al hablar de paradigma deseaba Kuhn "sugerir que algunos ejemplos aceptados en la práctica real -ejemplos que incluyen al mismo tiempo ley, teoría, aplicación e instrumentación- proporcionan modelos de los que surgen tradiciones particularmente coherentes de investigación científica... El estudio de los paradigmas es lo que prepara principalmente al estudiante para entrar a formar parte como miembro de la comunidad científica particular en la que trabajará más tarde" (l.c., pg. 34).

Kuhn mismo matiza (l.c., pp. 278-293) y distingue dos usos fundamentales del término "paradigma": (A) el de matriz disciplinal y (B) el de ejemplares compartidos.

(A) La matriz disciplinal se refiere a la posesión común de los practicantes de una disciplina particular. Entre sus elementos principales hay que incluir:

a) Las generalizaciones simbólicas. "Son componentes formales o fácilmente formalizables de la matriz disciplinal" (pg. 280). "Como $f = m.a$, o $I = V/R$, ellas funcionan en parte como leyes, pero también en parte como definiciones de algunos de los símbolos que enumeran" (pg.281).

b) Las partes metafísicas del paradigma: creencias, modelos heurísticos y modelos ontológicos. Ejemplos de ello son, respectivamente: "Todo fenómeno perceptible es debido a la interacción de átomos cualitativamente neutros en el vacío, o, alternativamente, a la fuerza y a la materia, o a los campos... El circuito eléctrico puede ser considerado como un sistema hidrodinámico en estado estable; las moléculas de un gas se comportan como elásticas y diminutas bolas de billar en un movimiento azaroso" (pg. 282).

c) Valores. Ejemplos de ellos son: "Las predicciones cuantitativas son preferibles a las cualitativas; cualquiera que sea el margen de error posible, éste debe ser satisfecho consecuentemente en un campo dado" (pg. 283).

d) Ejemplares. "Los problemas-soluciones concretos que los estudiantes encuentran desde el inicio de su educación científica, ya sea en los laboratorios, o en los exámenes, o

al final de cada capítulo de los textos científicos" (pg. 286).

(B) Respecto a los ejemplares compartidos, Kuhn advierte cómo "los científicos resuelven enigmas modelándolos sobre soluciones-enigmas previos, a veces con sólo un mínimo de recursos para las generalizaciones simbólicas" (pg. 290). Por ejemplo: "Huyghens resolvió el problema del centro de oscilación de un péndulo físico, imaginando que el cuerpo extendido de este último estaba compuesto de una infinidad de puntos pendulares galileanos, solidarios unos con otros, siendo posible soltar instantáneamente los eslabonamientos en cualquier punto de la oscilación... Su centro colectivo de gravedad, cuando cada uno alcanzaba su posición extrema, podía elevarse únicamente hasta la altura desde la cual el centro de gravedad del péndulo compuesto había empezado a caer" (pg. 291).

(iii) Swain (1985) analiza la ciencia desde una perspectiva en la que resaltan los intereses educativos. Después de explicar que la ciencia es una disciplina, que tiene un cuerpo de conocimientos o contenido y que utiliza procesos -tales como definir problemas, construir hipótesis, planificar experimentos, controlar variables, medir, registrar datos, interpretar, etc. etc.- pone de relieve dos cosas que son particularmente importantes para la educación:

(a) "La ciencia creativa emerge como la síntesis del

contenido y de los procesos" (l.c., pg. 145); "cuando la ciencia está en su fase más creativa se da una síntesis entre el conocimiento existente y los procesos científicos para producir nuevos conocimientos" (l.c., pg. 149). (b) La ciencia es, además, una fuerza que interactúa con la sociedad. "La sociedad exige cambio social y la ciencia suministra, con frecuencia, los instrumentos para el cambio social" (l.c., pg. 150).

1.1.2. Implicaciones para los proyectos didácticos

Las consideraciones de los párrafos anteriores tienen implicaciones, que no pueden ignorarse, a la hora de elaborar y desarrollar proyectos didácticos.

(i) En primer lugar, es preciso tener presente la distinción entre conocimiento científico y conocimiento de la ciencia. Duschl (1988) expresa con claridad uno de los aspectos que reclaman esta distinción: "Enseñar lo que se conoce en la ciencia es desarrollar el conocimiento científico. Enseñar cómo ha llegado la empresa científica a lo que reivindica como sus conocimientos, es desarrollar el conocimiento de la ciencia" (l.c. pg. 52). El conocimiento de una disciplina es algo mucho más amplio que la mera familiarización con los conceptos y las teorías que se manejan en esa disciplina; entre otras cosas, supone también el adentrarse en el quehacer y en los presupuestos de la

disciplina, familiarizarse con su historia y con sus perspectivas de futuro, con sus consecuciones y retos; supone también, usando la terminología de Kuhn, asimilar generalizaciones, modelos heurísticos y ontológicos, valores y ejemplares.

(ii) No es raro encontrar profesionales que necesitan utilizar parte del conocimiento científico perteneciente a una disciplina, aun sin ser miembros de la respectiva comunidad disciplinal y sin estar, consecuentemente, obligados a asimilar todo lo que supone la disciplina. Esto se da, por ejemplo, entre los miembros de equipos multidisciplinarios de investigación, cuyos éxitos son con frecuencia bien evidentes. Considérense, como caso ilustrativo, los avances realizados en la protección y defensa de la salud por el esfuerzo combinado de personas que proceden unos del campo de la Medicina y otros del campo de la Física. Puede afirmarse, pues, que las relaciones de un profesional con la Física son muy diferentes según se trate de un físico, o de uno que no es físico y necesita utilizar conocimientos físicos. Para el primero, la Física es el campo de su actividad profesional; para el segundo, un instrumento, más o menos importante, que utiliza al trabajar en otros campos. Afinando aún más, puede establecerse una amplia gama al analizar el quehacer profesional de los no físicos que utilizan conocimientos procedentes de la Física. Para los ingenieros de algunas especialidades, por ejemplo, un amplio conocimiento de la Física puede constituir un

instrumento indispensable, una condición necesaria para el desempeño correcto de su profesión; en el caso de profesionales pertenecientes a muchas ramas de las ciencias de la salud puede darse la necesidad de estar familiarizados con ciertos conocimientos del campo de la Física, aunque el número de éstos sea reducido y a un nivel no muy profundo.

(iii) Una tercera implicación del carácter disciplinal de la Física atañe a lo formativo. ¿Deben ser del mismo tipo, en los niveles de enseñanzas medias, las experiencias educativas que se ofrecen a los alumnos que desean ser físicos profesionales y a los que se encaminan a otros campos del quehacer humano? ¿Necesitan desarrollar las mismas capacidades y actitudes relacionadas con la Física los futuros físicos y los futuros ingenieros o médicos? ¿Es conveniente que los jóvenes que se disponen a ingresar en distintas facultades o escuelas universitarias tengan el mismo tipo de iniciación, por lo que se refiere a la Física? Por supuesto, es posible que no encuentren sentido a los interrogantes que acaban de formularse quienes reducen la Física a un conjunto de teorías y reglas de procedimiento; quienes tienen en cuenta, además, todo lo que supone la Física, por el mero hecho de ser una disciplina científica, no tienen otro remedio que buscar respuestas adecuadas.

1.1.3. La Física como asignatura del último curso de enseñanzas medias

Se utiliza la palabra "asignatura" para designar el conjunto de conocimientos, normas, indicaciones y expectativas, relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de una disciplina -en este caso de la Física- establecidas de forma directa o indirecta, explícita o implícita, por instancias superiores al centro escolar. En estas instancias está incluido, por supuesto, el departamento ministerial responsable de la elaboración de programas y normativa escolar para el nivel en cuestión; está incluida también la universidad que, a través de los exámenes de selectividad, contribuye poderosamente a configurar el panorama educativo. Más adelante, sección 4.1., se hablará del currículum normativo. Aquí se evita la palabra "currículum", más técnica, sin duda, que la palabra "asignatura", por no haber discutido aún la relación existente entre las normas de las que se va a hablar y el currículum. El tema se abordará en el capítulo 4.

1.1.3.1. El papel de la selectividad

Acaba de sugerirse que la universidad, a través de los exámenes de selectividad, influye en la configuración de la asignatura. El tema merece una consideración más amplia.

Por la misma naturaleza de las cosas, cualquier entidad examinadora externa al centro influye generalmente en lo que se enseña y en cómo se enseña; sobre todo, si la calificación de los exámenes por parte de esa entidad tiene consecuencias de gran importancia social. Quizás no fuera tan grande la influencia si las formas de actuar de la entidad variaran continuamente al azar; sin embargo, cuando las pautas examinadoras mantienen gran coherencia a lo largo del tiempo y son, en cierto modo, predecibles, la influencia puede ser muy grande. De una manera implícita, aunque muy eficiente, las entidades examinadoras externas influyen a través de dos procedimientos: elección de preguntas para los cuestionarios de examen y criterios empleados para corregir y calificar.

(1) Los diferentes tipos de cuestiones que aparecen en los exámenes son, en último término, una forma práctica de interpretar lo que se espera de los alumnos que han concluido sus estudios en un nivel determinado. Son muchas, teóricamente una cantidad ilimitada, las posibles modalidades de cuestionario. Considérense, a modo de ejemplo, las siguientes: (1) una o dos preguntas amplias, elegidas al azar, de entre la totalidad del programa; (2) un conjunto amplio de preguntas, más bien cortas, que cubren todas las partes del programa; (3) un bloque de preguntas, todas ellas con mayor peso a la hora de calificar, relacionadas con lo más importante del programa y otro bloque de menor peso relacionado con el resto; (4) preguntas

que ayudan a estimar la cantidad de conceptos que el alumno domina o preguntas que permiten valorar sus capacidades; (5) preguntas relacionadas con demostraciones teóricas y preguntas a las que es muy difícil, si no imposible, contestar a no ser que haya habido una amplia práctica de laboratorio; (6) resolución de problemas al modo convencional o presentación de problemas más abiertos; etc. Una pequeña reflexión sobre las modalidades mencionadas pone al descubierto de inmediato distintos tipos de variables que las configuran. Entre éstas se hallan: el aspecto formal que reviste el cuestionario, el peso específico atribuido a cada uno de los contenidos del programa y el tipo de capacidades del alumno que se desea explorar a través del examen. La combinación y dosificación de estas variables -y otras posibles- dan como resultado un determinado tipo de examen. Cuando ese tipo puede preverse, es lógico que los alumnos, secundados por los profesores, establezcan como prioridad fundamental prepararse para superar la prueba con éxito.

(ii) Además del tipo de examen, los criterios de corrección y calificación son un segundo factor que puede influir bastante. Entre estos criterios cabe mencionar la importancia que se da a que el escrito esté bien presentado y el razonamiento bien ordenado; el valor que se concede a que las respuestas estén totalmente acabadas o sólo bien encauzadas, aunque sin acabar; el peso que se atribuye a la ejecución de los cálculos requeridos y, por consiguiente, la forma en que se califica un problema perfectamente

planteado, pero con errores numéricos; la existencia de penalizaciones -puntos negativos- cuando se da cierto tipo de errores, llegando incluso a lo que Abernot (1988, pg. 35-36) llama variable "choc", es decir, una situación en que se suspende, sin más, al alumno que ha cometido el error, independientemente de cómo esté el resto de su ejercicio; etc. Vale aquí también lo que se afirmaba a propósito del tipo de examen; si se conocen de antemano los criterios de calificación, alumnos y profesores tenderán a acomodarse a ellos.

En el sistema educativo español hay una muestra clara del poder que tienen las pruebas externas en la configuración de las asignaturas: se trata de la diferencia existente entre lo que debería ser el COU, tal como fue planificado, y lo que es en realidad. La Ley General de Educación de 1970 establece el COU para que los alumnos profundicen en ciencias básicas, para orientarles en la elección de carreras o profesiones y adiestrarles en técnicas de trabajo intelectual propias de educación superior (art. 32.1). Sin embargo, como se reconoce en una publicación del MEC (1981), la realidad no ha respondido al ideal: "La creación de un curso que ensamblara el Bachillerato con la Universidad, que ha sido una aspiración general en los últimos casi treinta años, plasmada primeramente en el Preuniversitario y después en el COU, no ha sido posible. Parece invencible la atracción hacia el bachillerato que experimenta este tipo de cursos. Y este

mismo punto de vista lo debe compartir la Universidad, que siempre acaba estableciendo sus propios mecanismos de comprobación del nivel adquirido por los alumnos... Hay que notar cómo el establecimiento de estas pruebas [de selectividad] influye definitivamente en la realización de COU. En lugar de desarrollarse por sí mismo, cumpliendo los fines que le asigna la Ley, para padres, profesores y alumnos ha venido a convertirse en un curso de preparación para el examen de selectividad. Pocas veces un proyecto educativo habrá experimentado un cambio tan radical hasta convertirse justamente en lo contrario de aquello que fue inicialmente pensado" (l.c. pg. 38-39).

Ya fuera de España, Tobin et al. (1989), en una investigación llevada a cabo en Australia, hacen ver la influencia que tiene el TAE (Tertiary Admissions Examinations), examen externo semejante a la selectividad, en la práctica docente del personal -profesores modélicos- que ellos investigan. "Los resultados de esta investigación, afirman, ponen de manifiesto la fuerza tan poderosa que puede ser ejercida por un examen externo" (l.c., pg. 150).

Los alumnos del plan experimental están en las mismas condiciones que sus homólogos del plan ordinario en lo que respecta a la selectividad. Esta ejerce una influencia muy fuerte en los alumnos como pudo comprobarse hasta la saciedad en el trabajo de campo. Es lógico, por tanto, que al estudiar cómo está configurada la asignatura de Física en

el último curso de EE. MM., se preste atención a dos factores: las directrices establecidas por el departamento competente del MEC y las características de los exámenes de selectividad.

1.1.3.2. Directrices del MEC respecto a la asignatura

Al estudiar las directrices del MEC se han tenido en cuenta cuatro documentos: un cuaderno informativo publicado antes de comenzar el Bachillerato experimental (MEC, 1985 b) y tres instrucciones (MEC, 1986, 1987 y 1988) preparadas por los equipos de la reforma y enviadas a los centros experimentales.

Hay notables diferencias entre el cuaderno informativo, por una parte, y las instrucciones, por otra. De hecho, las prescripciones del cuaderno informativo, relacionadas con la Física del último curso de las EE. MM., no llegaron a aplicarse tal como estaban originalmente redactadas. Antes de que se cursara por primera vez el segundo curso del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza -curso 1986/87- los centros experimentales recibieron la primera instrucción que, además de modificar el programa, introducía bastantes elementos nuevos relacionados con el diseño curricular.

El contenido del cuaderno informativo era básicamente un programa. Junto con él se señalaban objetivos y orientaciones metodológicas. Los objetivos propuestos eran:

proporcionar al alumno una visión coherente y suficientemente rigurosa del edificio conceptual de la Física, dotarle de los conocimientos instrumentales de Física necesarios para el estudio de otras disciplinas científicas, llevarlo a una visión de la ciencia como proceso de cambio conceptual y metodológico, desarrollar en él habilidades y destrezas científicas y afianzar su familiarización con la metodología científica. En lo que respecta a los métodos didácticos se sugiere que el 50% de las clases tengan carácter práctico y experimental, que se realicen actividades semejantes a las desarrolladas por los científicos adultos en sus trabajos de investigación y que se utilicen los conocimientos matemáticos instrumentales adquiridos durante el curso anterior. El cuaderno presentaba, además, una característica poco frecuente en los documentos que incluyen temarios: a continuación de cada uno de los temas se indicaba el intervalo de tiempo considerado como adecuado para el desarrollo del mismo. En último término, esto puede ser considerado como un indicador de la extensión con que debería ser tratado el tema.

Las tres instrucciones (MEC 1986, 1987 y 1988) coinciden en la mayoría de sus contenidos; amplían, además, y en parte modifican, lo establecido en el cuaderno informativo. A continuación se van a tratar las tres conjuntamente. Se indicarán las divergencias sólo cuando éstas tengan cierta importancia.

(i) Objetivos. Las instrucciones contienen un apartado que precede a los programas de Física y Química y en el que se trata conjuntamente de objetivos, organización del currículum y consideraciones metodológicas. A continuación se transcribe lo relativo a los objetivos (MEC, 1986):

"Objetivos de conocimiento:

- Tendrá capacidad para reconocer problemas y buscar la forma de resolverlos.
- Será capaz de distinguir entre suposiciones o interpretaciones e hipótesis comprobadas experimentalmente.
- Formulará y evaluará relaciones entre variables y leyes.
- Conocerá y será consciente del carácter no permanente de las teorías científicas.
- Conocerá algunas teorías científicas y el papel que éstas representan en la construcción de la ciencia.
- Adquirirá los contenidos necesarios para el estudio de otras materias científicas y para la continuación de estudios de Física y Química.
- Entenderá, comprenderá y manejará los lenguajes de la Física y la Química.
- Conocerá el marco histórico en el que se desarrolla la ciencia.

Objetivos de destrezas:

- Desarrollará técnicas de manipulación y experimentación necesarias para el trabajo científico.
- Adquirirá habilidades y destrezas no alcanzadas en el primer ciclo (buscar explicaciones, evaluar diseños, etc...) y desarrollará las ya iniciadas.
- Será capaz de construir una argumentación lógica.

Objetivos de actitudes:

- Será consciente de las implicaciones sociales de la Ciencia y la tecnología
- Será capaz de evaluar y tomar decisiones.
- Mantendrá una actitud positiva hacia la Ciencia.
- Promoverá en los alumnos actitudes responsables ante los hechos científicos y tecnológicos" (pgs. 1-2).

Estos objetivos se repiten en las tres instrucciones, con algún ligero cambio de orden. Hay, sin embargo, un objetivo -ser capaz de evaluar y tomar decisiones- que aparece en el año 1986, pero se suprime en los dos siguientes. Por otra parte, los objetivos que aparecían en el cuaderno informativo pueden considerarse incluidos en los objetivos fijados en las instrucciones, con la siguiente salvedad: un objetivo que figura en el cuaderno - "proporcionar al alumno una visión coherente y suficientemente rigurosa del edificio conceptual de la Física"- no figura entre los objetivos de la instrucción de 1986; reaparece, no obstante, aunque no bajo el epígrafe de objetivos, en la instrucción de 1987 y se mantiene en la de 1988. La formulación, en estos documentos, es como sigue: "Se trata pues de que al final del ciclo el alumno disponga de una estructura conceptual en la que se sitúen los conceptos más relevantes de estas materias y de las relaciones entre ellos".

(ii) Líneas orientativas . Se engloban bajo este epígrafe un conjunto de proposiciones de índole diferente. Algunas de ellas parecen haber sido escritas para informar acerca de los motivos que han llevado a establecer determinadas prescripciones de la instrucción; otras ofrecen indicaciones que pueden ser útiles al preparar los proyectos didácticos.

a) Algunas de estas indicaciones hacen referencia a cuestiones sobre psicología del aprendizaje. Por ejemplo: "Se considerará la incorporación de las nuevas capacidades intelectuales correspondientes a la etapa del desarrollo formal de los alumnos, continuando con una metodología activa en la que actividades de carácter manipulativo den paso a estrategias de aprendizaje más reflexivas" (MEC, 1986, pg.3). El alumno "aprenderá a evaluar y modificar esquemas de conocimiento, para llegar a construir los suyos propios, modificarlos y relacionarlos entre sí. Para ello es preciso que el alumno posea una estructura de conocimientos en la que vaya integrando lo que aprende..." (ib. pg. 6).

b) Otras indicaciones se refieren a métodos didácticos. En concreto, se rechazan la enseñanza basada en la transmisión de conocimientos ya elaborados y el descubrimiento inductivo y autónomo. Se indica que el profesor debe dirigir el trabajo organizando el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual, teniendo en cuenta las estructuras previas de los alumnos y aprovechando la perspectiva del proceso histórico en el que se han elaborado los conceptos científicos. La metodología debe incluir: introducción y manejo de conceptos y esquemas conceptuales, análisis y establecimiento de relaciones ciencia/sociedad; mejor utilización de las funciones matemáticas (esto último es un añadido de los años 1987 y 1988).

c) En las indicaciones que se refieren a la secuenciación se habla de ciclos aunque, al parecer, con cierta ambigüedad. Se dice, en efecto, que "los contenidos se seleccionan evitando en lo posible la repetición constante de los mismos, de forma que se avance sobre las ideas claves de la asignatura en forma de espiral, ofreciendo a la vez las suficientes estructuras secundarias capaces de incluir los conceptos necesarios para niveles posteriores" (MEC, 1986, pg.4). Esta idea se precisa más: "Aunque en el temario propuesto para el ciclo no se repiten los temas, el carácter cíclico del mismo queda implícito en el hecho de que los conceptos fundamentales abordados en el primer curso (movimientos, fuerzas, transformaciones, conservación de la energía...) deben ser necesariamente revisados y utilizados al estudiar las interacciones gravitatorias y electromagnéticas." (ib. pg. 5). Por otra parte, se afirma que "se antepone la profundización a la extensión" (ib. pg. 3).

d) Se dan sugerencias para la realización de trabajos prácticos y resolución de problemas. Entre las primeras están: planteamiento preciso de problemas científicos; manejo de bibliografía; emisión de hipótesis; diseño y realización de experiencias; interpretación de resultados; exposición del planteamiento, proceso y conclusiones. Entre las segundas se encuentran: estudio cualitativo de la situación del problema; formulación precisa del problema; determinación de las variables implicadas; elaboración de

alternativas de resolución; resolución; interpretación de los resultados. (MEC 1986, pg. 6 y 7).

(iii) Temario. El programa de la instrucción de 1986 contiene 10 temas: dinámica del movimiento armónico simple, movimiento ondulatorio, interacción gravitatoria, campo eléctrico, corriente eléctrica, electromagnetismo, la luz, la crisis de la Física clásica, la Física moderna y el núcleo atómico. En los documentos de los años 1987 y 1988 el temario experimenta un aumento. En efecto, se añaden dos nuevos temas: uno sobre técnicas experimentales en Física y otro sobre dinámica de rotación; el tema del movimiento ondulatorio se amplía, introduciendo las ondas sonoras y la intensidad del sonido; se modifica bastante el tema de la Física moderna y se explicita mucho más lo referente a la relatividad; finalmente, se amplía el tema del núcleo atómico introduciendo nuevos apartados.

A continuación del temario, la instrucción de 1986 añade anotaciones para el desarrollo del programa. Una sección parecida, ampliamente coincidente con la del año 1986, figura en los documentos de los años 1987 y 1988. Estos aportan, además, una sección con sugerencias para los trabajos prácticos.

1.1.3.3. Las características de los exámenes de selectividad

Dado que el Bachiller experimental lleva en vigor muy pocos años, se dispone de pocos modelos de exámenes de selectividad. En concreto, al finalizar el curso 88/89, correspondiente a la última promoción estudiada en este trabajo, se disponía de ocho modelos de examen: cuatro correspondientes al año 1987 (dos de Junio y dos de Septiembre), dos correspondientes al año 1988 (uno de Junio y otro de Septiembre) y otros dos (Junio y Septiembre) correspondientes al año 1989.

La estructura de los distintos modelos se asemeja bastante. Todos se componen de dos partes: una de ejercicios y otra de cuestiones; a veces, sin embargo, algún punto concreto situado entre las cuestiones parece adecuarse más al tipo de actividad que requieren los ejercicios. Se ha analizado el tipo de respuestas requeridas por los cuestionarios y se han obtenido las siguientes clases:

(1) Explicar una experiencia relacionada con un conjunto de datos supuestamente obtenidos al efectuar esa experiencia.

(2) Hallar el valor de una magnitud a partir de unos datos dados. Generalmente se trata de resolver problemas numéricos típicos, aunque a veces se pregunta por aspectos cualitativos.

(3) Indicar las manipulaciones que se requerirían en un montaje dado -un circuito, por ejemplo- para conseguir unos efectos determinados.

(4) Explicar conceptos, describir fenómenos o deducir fórmulas.

(5) Explicar experiencias de laboratorio que sería preciso realizar para conseguir unas metas determinadas.

(6) Aducir los principios que han sido utilizados al contestar un punto determinado del cuestionario.

(7) Dibujar diagramas -por ejemplo, diagramas de fuerzas- que son útiles para representar una situación o para resolver un problema.

(8) Comprobar si unos datos determinados encajan en una ley física o en una fórmula conocida.

(9) Representar, de manera gráfica, un conjunto determinado de datos.

(10) Explicar el proceso que se ha seguido para resolver un problema.

(11) Interpretar una gráfica que ha sido dibujada previamente.

Además de hacer este análisis cualitativo, se ha intentado cuantificar la frecuencia con que aparece cada uno de los tipos de cuestión que acaban de describirse. Hay que

ser extremadamente cautos al interpretar el resultado de la cuantificación, pues los elementos agrupados en cada una de las clases mencionadas son equivalentes bajo ciertos puntos de vista, pero diferentes bajo otros. Por ejemplo, puede haber una cuestión, a modo de problema, en la que se pide hallar el valor de una magnitud en condiciones tales que se requiere un proceso de razonamiento relativamente complejo y la utilización de cálculos diferentes; otras veces se pide el mismo objetivo -hallar el valor de una magnitud- pero en condiciones en que basta efectuar simples sustituciones numéricas en alguna expresión que contenga a la variable de que se trata.

TABLA I.- Frecuencias del tipo de respuesta requerido por los exámenes de selectividad

TIPO	AÑOS								TOTAL
	87/JA	87/JB	87/SA	87/SB	88/J	88/S	89/J	89/S	
(1)	1	-	1	-	-	-	-	-	2
(2)	3	6	4	7	4	5	11	9	49
(3)	2	-	2	2	1	-	-	1	8
(4)	2	1	3	3	3	3	1	1	17
(5)	1	1	-	1	1	1	-	-	5
(6)	-	1	-	-	-	-	-	1	2

(7)	-	1	1	2	1	1	3	1	10
(8)	-	-	-	1	1	1	-	-	3
(9)	-	-	-	-	-	-	-	-	2
(10)	1	-	1	1	-	-	-	-	3
(11)	-	-	-	-	-	-	-	2	2

En la Tabla I se resumen los resultados de la cuantificación. Los números entre paréntesis que figuran en la primera columna corresponden a las once clases descritas en los párrafos anteriores. A continuación de cada año, en la fila primera, se indica si el examen pertenece a Junio (J) o a Septiembre (S). Las letras A y B, a continuación del símbolo del mes, indican las dos opciones presentadas en la ocasión.

En la Tabla I puede apreciarse fácilmente la diversidad de frecuencia con que aparecen los distintos tipos de respuestas requeridas. La modalidad más frecuente es la de resolver los típicos "problemas" o ejercicios numéricos. En segundo lugar, y con bastante menor frecuencia, se pide explicar conceptos, describir situaciones o deducir fórmulas. En tercer lugar, por orden de frecuencia, están los dibujos de diagramas. Teniendo siempre presente la advertencia hecha a propósito de la cuantificación de las frecuencias, éstas pueden tomarse como indicador, aunque tosco, de lo que básicamente se requiere para superar bien los exámenes de selectividad. La resolución de problemas es

requerida en el 48.0% de los casos; la explicación de conceptos o cosas análogas en el 16.7% y el dibujar diagramas en el 9.8%. Ninguno de los restantes aspectos es requerido en más del 5% de los casos.

1.1.3.4. Relación de los exámenes de selectividad con los objetivos propuestos

Los exámenes de selectividad actúan inevitablemente como intérprete de lo requerido por programas y temarios. Aunque se exprese repetidamente el deseo de que esto no suceda, tanto alumnos como profesores se sentirán inclinados a seguir, a lo largo del curso, aquellas pautas de enseñanza y aprendizaje que consideren más útiles para superar el tipo de exámenes que suele aparecer.

Por supuesto, un examen, por muy bien diseñado que esté, sólo puede cubrir algunos aspectos del temario y sólo puede explorar algunas capacidades. Por otra parte, lo reducido del número de cuestionarios aparecidos en los tres años considerados no permite afirmar que se hayan consolidado unas pautas generales; tanto menos, cuanto que aparecen ciertas diferencias entre los distintos cuestionarios.

A pesar de estas salvedades, puede preguntarse si tiene mucho sentido, desde un punto de vista puramente pragmático, establecer unos objetivos cuando alumnos y profesores saben

que su consecución no va a influir en la nota de selectividad. Para aclarar más esto, conviene tener en cuenta las siguientes precisiones:

(i) Los exámenes de selectividad se suelen inclinar por un tipo determinado de problemas: los que, según la terminología de Garret (véase sección 3.3.0), pueden llamarse "problemas cerrados". No ha aparecido ningún problema abierto y esto tiene un riesgo: el que alumnos y profesores no empleen el escaso tiempo de que disponen en trabajar un tipo de problemas que presumen no va a aparecer en los exámenes.

(ii) En los cuestionarios se pide a veces explicar experiencias de laboratorio. Pudiera pensarse que esto es una manera de estimular el trabajo experimental a lo largo del curso. A este propósito, conviene advertir que no es requisito necesario haber practicado una experiencia para explicarla someramente. Los libros de texto suelen describir algunas experiencias notables -por ejemplo, las practicadas para medir la velocidad de la luz- y los alumnos las recuerdan bien en general, incluso con detalles, aunque no las han realizado. Ahora bien, si la práctica real de laboratorio no es condición necesaria para contestar bien el tipo de cuestiones a las que aquí se hace referencia, las respuestas de los alumnos no son prueba de la adquisición, por parte de ellos, de las "técnicas de manipulación y experimentación necesarias para el trabajo científico".

(iii) No parece arriesgado afirmar que, si se cuenta solamente con la información que proporcionan exámenes como los aparecidos hasta ahora, es imposible discernir si los alumnos han conseguido objetivos tales como: ser conscientes de las implicaciones sociales de la ciencia y la tecnología, mantener actitud positiva hacia la ciencia y adoptar actitudes responsables ante los hechos científicos y tecnológicos. Puede pensarse, y con razón, que los exámenes no son el instrumento más adecuado para apreciar si existen ciertas actitudes. Aun dejando a un lado el problema de las actitudes y limitando la discusión al terreno de las aptitudes, cabe dudar de que los exámenes permitan detectar de manera fiable si el alumno, en contextos que sobrepasen la situación meramente verbalizante y de repetición memorística, es capaz de distinguir entre suposiciones e hipótesis comprobadas, conoce el papel que han jugado algunas teorías en la construcción de la ciencia, es consciente del carácter no permanente de las teorías científicas y es capaz de construir una argumentación lógica.

(iv) El auténtico problema no consiste quizás en cambiar el tipo de examen de selectividad. Ya se ha apuntado que un examen, por su misma naturaleza, no es el instrumento más adecuado para apreciar actitudes. Asimismo, un examen escrito, con los ineludibles límites de tiempo y en un contexto alejado de la espontaneidad, se presta poco a explorar ciertas capacidades. Hay que reconocer que la

conveniencia de mantener los exámenes de selectividad y, sobre todo, de atribuir un peso social tan elevado a la calificación obtenida en los mismos, puede estar enraizada en terrenos que son ajenos al campo de la didáctica. Desde éste, sin embargo, se puede y se debe hacer ver que, todo el cúmulo de circunstancias que rodea a los exámenes de selectividad, es capaz de imponer serias limitaciones y reducciones en el diseño y desarrollo de los proyectos didácticos. Mientras los exámenes sigan teniendo la fuerza social que tienen en la actualidad, no parece muy realista esperar grandes esfuerzos por parte de muchos profesores y alumnos por conseguir capacidades y explorar perspectivas que, aunque aparezcan en los objetivos, no van a influir en la calificación final.

1.2. EL APRENDIZAJE

Hoy día no existe una postura unitaria en lo que respecta al conocimiento y a la forma en que éste se adquiere. Por ejemplo, hablando desde el campo de la psicología cognitiva, Vega (1984) advierte: "no existe una perspectiva unitaria en la psicología cognitiva actual. Sino más bien una variedad de enfoques o 'paradigmas' ... que apenas tienen en común su énfasis en los fenómenos mentales como agentes causales del comportamiento" (l.c. pg. 24). Por su parte, al tratar del marco de referencia psicológico para el curriculum escolar, Coll Salvador (1986) habla de varios enfoques; básicamente de: la teoría genética de Piaget, la teoría del origen sociocultural de los procesos psicológicos superiores, la teoría del aprendizaje verbal significativo y la teoría de los esquemas. A continuación añade: "Los principios básicos compartidos, o al menos no contradictorios entre sí, de estos enfoques no son prescripciones educativas en sentido estricto, sino más bien principios generales, ideas-fuerza que impregnan todo el curriculum y que se reflejan en la manera de concretar sus componentes, en las decisiones relativas a su estructura formal y en las actuaciones que su desarrollo y utilización implican" (l.c. pg. 12).

En el presente trabajo no se ha buscado entrar en la discusión sobre la naturaleza del aprendizaje. La intención

es mucho más limitada: se trata de explorar condicionantes que parecen obstaculizar el aprendizaje de la Física. Para conseguir esta meta no es necesario haber dilucidado de antemano lo que es el aprendizaje, aunque sí se requiere disponer de unos criterios que indiquen cuándo ha habido avance en el aprendizaje y cuándo no. Este enfoque, por el que se pasa de un problema sobre la naturaleza del aprendizaje a un problema sobre su crecimiento, está inspirado por unas consideraciones de Piaget (1975) a propósito del conocimiento científico. "Si bien la naturaleza del conocimiento científico en general es un problema aún filosófico porque necesariamente se relaciona con todos los problemas globales, resulta sin duda posible situarse in medias res y delimitar una serie de problemas concretos y particulares que se enuncian en forma plural: ¿Cómo se incrementan los conocimientos? En este caso, la teoría de los mecanismos comunes a estos diversos incrementos, estudiados inductivamente como hechos empíricos que se suman con otros hechos, constituirá una disciplina que se esforzará, estableciendo diferenciaciones sucesivas, en convertirse en científica" (l.c. pg. 31).

De acuerdo con el planteamiento que acaba de hacerse, la rigurosidad en el trabajo exige establecer unos criterios claros que permitan determinar, en cada situación concreta, si un alumno avanza en el conocimiento o no. Por otra parte, y como es obvio, cualquier estudio de los problemas de aprendizaje está indisolublemente ligado, de forma más o

menos explícita, a un esquema conceptual de referencia. Este es el que determina los planteamientos, dirige las observaciones y da coherencia a la discusión de los datos. Por eso, se ha creído conveniente no sólo presentar los criterios por los que se determina si ha avanzado o no el conocimiento, sino también explicitar, de forma resumida, las líneas generales que constituyen el marco de referencia conceptual.

1.2.1. Marco de referencia

La postura que se ha adoptado en relación con el aprendizaje es constructivista. Pero, decir esto, no limita mucho el campo. Como observan Watts et al. (1989) "el constructivismo es un paraguas para una gama de teorías -y teóricos- que participan de puntos de vista comunes" (l.c. pg. 327). Estos mismos autores citan a continuación a Mahoney (1988) según el cual "el constructivismo se refiere a una familia de teorías que tienen en común el aserto de que el conocimiento humano y la experiencia suponen la participación (pro)activa del individuo".

En un intento por precisar más la visión constructivista que ha presidido este trabajo, se harán breves indicaciones sobre algunos temas más particulares, tales como la superación del asociacionismo, los conceptos preexistentes, el cambio conceptual, la significatividad y

el aprendizaje en grupo. Se trata, a veces, de ideas tomadas de distintas corrientes. Todas ellas, de una u otra forma, han influido en aspectos fundamentales del trabajo, tales como el planteamiento de los problemas, los presupuestos e hipótesis y la explicación de los fenómenos observados.

(i) Asociacionismo. Se ha supuesto que la formación de nuevos conocimientos es algo mucho más complejo que el mero asociacionismo, según el cual, en palabras de Piaget et al. (1978), "toda adquisición, desde la más sencilla a la más compleja, debería ser así concebida como una respuesta a los estímulos exteriores, y cuyo carácter asociativo expresa una subordinación pura y simple de las relaciones adquiridas a las relaciones exteriores" (l.c. pg. 17). Así, pues, se da por supuesto que entre los estímulos y la respuesta intervienen de forma muy destacada actividades del sujeto o del organismo, que figura como estructura organizadora.

(ii) Conceptos preexistentes. Hoy, después de una gran multiplicidad de trabajos sobre el tema, sería insensato suponer que el alumno llega a la Física con su mente totalmente en blanco respecto a muchas de las cuestiones que aborda la disciplina. El alumno tiene ya de hecho sus conceptos en muchos casos. Esto es importante, porque lo que se aprende está condicionado por lo que ya se sabe: el aprendizaje es más bien un fenómeno de cambio conceptual (Driver, 1988). Los conceptos con los que el alumno llega a clase han sido objeto de múltiples estudios. Como ejemplo de

reseñas bibliográficas pueden verse las de Carrascosa Alís (1983) o las más recientes de Eylon et al. (1988) o Mestre et al. (1989). Muchos estudios versan, en concreto, sobre conceptos acerca de algunas partes determinadas de la Física, tales como la Mecánica, la Electricidad, la Termodinámica, etc. Son varios los matices con que se aborda el fenómeno y varias también las denominaciones que se emplean: así, se habla de preconceptos, de errores conceptuales, de ideas preexistentes, etc. Hay también quien, como Siegler (1983), opina que, al menos parte del conocimiento, puede interpretarse como un conjunto de reglas que se usan para predecir, hasta que la experiencia subsiguiente demuestra que son inadecuadas. El hecho es que, cuando el alumno se enfrenta a un tema de Física, ya tiene, en bastantes casos, ciertas ideas a las que hace relación e incluso ciertos esquemas de procedimiento que está dispuesto a aplicar. Por lo demás, algunos errores pueden haberse generado en el decurso del proceso educativo del alumno.

(iii) Cambio conceptual. Ya se ha dicho antes que el aprendizaje puede interpretarse como un fenómeno de cambio. A este respecto son interesantísimas las categorías de asimilación y acomodación, centrales en la teoría piagetiana. "Ningún conocimiento, ni siquiera perceptivo, constituye una simple copia de lo real, puesto que supone siempre un proceso de asimilación a estructuras anteriores... Cuando un hombre, o animal, percibe un objeto, lo identifica como perteneciente a determinadas categorías,

conceptuales o prácticas...; así, pues, lo asimila a estructuras más o menos complejas y de niveles diversos, pero anteriores a su percepción del momento" (Piaget, 1977, pg. 6-7). Pero esto no es todo: cualquiera de los ciclos en espiral, por los que avanza el conocimiento, se completa con la acomodación, "es decir, la necesidad que encuentra la asimilación de tener en cuenta las particularidades propias de los elementos que hay que asimilar" (Piaget, 1978, pg. 8). En efecto, "todo esquema de asimilación se encuentra obligado a acomodarse a los elementos que asimila, es decir, a modificarse en función de sus particularidades, pero sin perder por ello su continuidad...ni sus anteriores poderes de asimilación" (Piaget, 1978, pg.9).

El cambio producido por la acomodación, sin embargo, no es algo que se dé fácilmente; por eso hay que hablar de conflicto epistemológico y de las condiciones que lo favorecen (véase, por ejemplo, Solís Villa, 1984). En muchas ocasiones, no se llegará a una buena acomodación. Por lo que respecta a los errores, éstos no llegarán a corregirse si no se cambia la metodología de la superficialidad que lleva a respuestas seguras y rápidas a base de generalizaciones acriticas (Carrascosa et al., 1985).

(iv) Significatividad del aprendizaje. Con estas palabras se hace referencia al "proceso por el que se relaciona nueva información con algún aspecto ya existente en la estructura cognitiva del individuo y que sea relevante

para el material que intenta aprender" (Novak, 1982, pg. 71). En relación con este tema, no es cuestión de entrar ahora en la teoría de Ausubel o en la interpretación del mismo dada por Novak. Sin embargo, sí es conveniente señalar que se pueden tomar elementos de esta teoría y de la piagetiana sin incurrir en incompatibilidades. Novak (1977) habla de una alternativa a la psicología piagetiana; posteriormente, el mismo Novak (1988) rechaza "la idea piagetiana de 'etapas' generales ligadas a la edad de desarrollo cognoscitivo que limitan el nuevo aprendizaje" (l.c. pg. 215). Habría que valorar esta afirmación teniendo en cuenta las razones que ya apuntó Novak (1982) al explicar su discrepancia con Piaget: "Con nuestro conocimiento actual de la biología de las funciones cerebrales, no creemos probable que aparezcan nuevos mecanismos neurales en el niño a medida que va madurando. Los mecanismos biológicos para la codificación, almacenamiento y procesamiento de la información, son con toda probabilidad los mismos desde el nacimiento hasta la edad senil o la muerte; lo que cambia es la cantidad y las relaciones entre neuronas funcionales y esto supone un desarrollo cuantitativo en el tiempo, no un cambio cualitativo" (l.c. pg. 116). Pues bien, el hecho de que los saltos de una etapa a otra, por lo que respecta al soporte biológico, sean de tipo cuantitativo o cualitativo, no parece que afecte, de una manera esencial, a la interpretación del avance del conocimiento como proceso de asimilación, acomodación y adaptación, sobre todo si se

tiene en cuenta que los cambios, del tipo que sean, se efectúan generalmente a unas edades determinadas. Por eso se ha adoptado una postura ecléctica ante las dos líneas y se han tomado de ambas aspectos que se consideraban no sólo compatibles sino también, y hasta cierto punto, complementarios.

(v) El aprendizaje en grupo. Coll Salvador (1986) hace ver la conveniencia de "diferenciar entre lo que el alumno es capaz de hacer y aprender por sí solo y lo que es capaz de hacer y aprender con el concurso de otras personas observándolas, imitándolas, atendiendo a sus explicaciones, siguiendo sus instrucciones y colaborando con ellas" (l.c. pg. 15). El grupo de iguales presenta muchas oportunidades de observación, imitación y colaboración. Kutnick (1990) hace ver cómo ese grupo es de vital importancia para el paso de la etapa preoperacional a la etapa de las operaciones concretas. Las razones que da, y los estudios que aduce en apoyo de su afirmación, hacen ver que la influencia benéfica del grupo no se reduce a las etapas mencionadas. De hecho, el grupo de iguales es un lugar privilegiado para el conflicto y, como dice Kutnick (1990), "este conflicto (sin la presencia de la jerarquía) fuerza al niño a descentrar, a reflexionar sobre la acción y a explicar las percepciones individuales a los otros (a través del desequilibrio social). No se trata del conflicto que puede observarse en los patios de recreo, sino del que estimula al alumno a asimilar y acomodar las perspectivas enfrentadas. El

conflicto cognitivo se da entre amigos e iguales" (l.c. pg. 91). Más adelante, el mismo autor afirma: "Por añadidura, la extensa investigación llevada a cabo por los Johnsons... muestra que el conflicto es una estrategia de aprendizaje efectiva, sobre todo cuando se le compara con otras estrategias alternativas tales como el debate, el consenso y la individualización" (ib.). Para completar el panorama, conviene citar una observación de Kutnick: "Estudios basados en el aula demuestran también... que la planificación social tiene que ir mucho más allá de sentar, ingenuamente, a los niños en grupos" (l.c. pg. 92).

1.2.2. Criterios adoptados para determinar el avance en el conocimiento

El alumno, día tras día, está sometido a un flujo de información, en materia de Física, que procede principalmente de las explicaciones del profesor, de los intercambios con los compañeros, de los libros de texto o de divulgación y de su propia experiencia en el laboratorio. La información que recibe está codificada, en la mayoría de los casos, en el lenguaje propio de la Física y estructurada de acuerdo con las pautas habituales de la disciplina. ¿Cuándo puede decirse que esa información ha sido asimilada e integrada en el universo cognitivo del alumno, aumentando así sus conocimientos?

Solís Villa (1984) hace ver varios caminos que puede seguir el alumno después de encontrarse con una idea nueva: puede rechazarla, memorizarla, incorporarla, si bien interpretándola conforme a sus esquemas preexistentes equivocados o no, o hacer que sustituya a una idea antigua. El problema radica en que, lo que acontece en la mente del alumno, sólo puede ser inferido por un observador externo, y a través de indicadores perceptibles. Es sabido que una inferencia bien fundada puede demandar, con frecuencia, gran cantidad de tiempo y abundancia de indicadores. Hay algo que simplifica la situación: generalmente es más fácil determinar cuándo no ha habido avance en el conocimiento. Por ejemplo, si se constata que el alumno expresa un concepto, puede pensarse que lo ha asimilado, aunque pudiera suceder también que se tratara de una simple memorización; sin embargo, si el alumno verbaliza de manera errónea y consistentemente el concepto, o no lo recuerda en absoluto, puede concluirse con cierta garantía que no ha integrado el concepto en su esquema cognitivo.

A continuación se van a describir cuatro tipos de situaciones, que se consideran relevantes para hacer inferencias respecto al avance del conocimiento de los alumnos. Estas situaciones tienen que ver con la forma en que los alumnos verbalizan, aplican, relacionan y generalizan los conceptos de la Física. Cada una de las situaciones se ha tomado como punto de partida para definir

critérios que permitan inferir si el alumno avanza o no en el conocimiento.

(i) Criterio primero: verbalización. El alumno es capaz de reproducir con palabras distintas, con construcciones gramaticales diferentes, la información recibida. Se trata, por ejemplo, de aquellos casos en que el alumno define variables, describe situaciones o conceptos, sin repetir las palabras de los libros o del profesor. La cosa no es tan sencilla como parece, porque la Física utiliza un lenguaje muy preciso; sin embargo, aunque los términos técnicos no admitan, por lo general, sinonimia, es posible dar descripciones equivalentes de una misma situación. Para satisfacer lo que se exige en este primer criterio basta con que el alumno haya adquirido comprensión de lo que significan unos símbolos lingüísticos determinados y sea capaz de expresar lo comprendido utilizando signos diferentes. El satisfacer el criterio supone cierto avance. En efecto, la Física utiliza simultáneamente el lenguaje ordinario -con la salvedad del significado preciso y unívoco de los términos específicos, tales como fuerza, trabajo, calor específico, etc.- y el lenguaje de las Matemáticas. El alumno que satisface este primer criterio ya tiene cierta habilidad, pues puede pasar de un lenguaje a otro sin desfigurarse las descripciones en esta "traducción".

El criterio puede ser aplicado de forma positiva -se da buena verbalización- o de forma negativa -el alumno es

incapaz de verbalizar adecuadamente-. Si se utiliza la forma positiva, el criterio es un indicador débil y ambiguo; sin embargo, cuando el alumno no llega a satisfacer el criterio, puede presumirse, con bastante fundamento, que no ha habido avance en el conocimiento.

(ii) Criterio segundo: aplicación. Se trata de ver si el alumno es capaz de utilizar adecuadamente el concepto que se supone adquirido, al enfrentarse con situaciones concretas. Este criterio se satisface, en términos generales, cuando el alumno resuelve bien los problemas o ejercicios numéricos del tipo de los que suelen aparecer en los libros de texto a modo de ilustración de la teoría. Para efectuar esa resolución, en los casos más sencillos, el alumno necesita dar, al menos, los siguientes pasos: a) identificar una situación como caso particular de algún concepto o de alguna relación existente entre variables; b) establecer la correspondencia adecuada entre los valores numéricos que le da el enunciado del ejercicio y las variables que aparecen expresadas de manera abstracta en la teoría; c) realizar las operaciones de cálculo pertinentes. En los casos más complicados puede suceder que no aparezca, a primera vista, la correspondencia entre los valores numéricos del enunciado y la incógnita cuyo valor se desea averiguar. En ese caso, el alumno tendría que pensar en situaciones intermedias relacionadas, al mismo tiempo, con los valores numéricos y con la solución buscada.

Cuando el alumno satisface el criterio primero, de verbalización correcta, pero no el segundo y esto -tégase siempre bien presente- ocurre de forma consistente, puede pensarse que ha habido sólo aprendizaje memorístico y no una comprensión adecuada del concepto en cuestión.

(iii) Criterio tercero: dominio de relaciones. Se trata de que el alumno busque, identifique y exprese con propiedad relaciones. Los términos que se relacionan pueden ser de distinto tipo; entre ellos: conceptos, fenómenos, variables y, por supuesto, elementos pertenecientes a dos categorías diferentes. Cuando el alumno se enfrenta a una variedad relativamente grande de estos términos, el número de relaciones que puede establecer entre ellos es muy elevado. La configuración de todas estas relaciones se reflejaría en los mapas conceptuales del alumno (Novak et al., 1983 y Novak, 1988). Estas relaciones pueden estar formuladas de forma cualitativa o cuantitativa. Por citar algunas de ellas, piénsese, por ejemplo en relaciones de identidad, de analogía, de complementariedad, de contraste o diferenciación; piénsese también en relaciones espaciales y temporales.

El hecho de que un alumno formule bien las relaciones existentes entre varios términos - por ejemplo, varios conceptos- es altamente significativo. Es un indicio de que la estructura conceptual -y no solamente los elementos que la componen- está construida y organizada de forma correcta.

En la medida en que el alumno identifica acertadamente mayor número de relaciones de las que se manejan en Física, puede pensarse que asimila cada vez mejor el edificio conceptual de la disciplina, tal como éste se encuentra en la actualidad. En contrapartida, el hecho de que un alumno no salga airoso al aplicar este criterio es señal de que sus conocimientos no están muy bien integrados.

(iv) Criterio cuarto: generalización. Supóngase que el alumno ha formado un concepto. Se entiende que generaliza cuando lo utiliza para abordar situaciones nuevas análogas a las que sirvieron de soporte para la formación del concepto. Algunos ejemplos pueden ilustrar el caso: un alumno generaliza cuando utiliza los conocimientos adquiridos, al estudiar el campo gravitatorio, para comprender y describir la situación de un campo electrostático; cuando utiliza sus conocimientos sobre movimiento armónico simple -adquiridos al trabajar con muelles- al estudiar los fenómenos relacionados con un péndulo de torsión. La generalización es, sin duda, un proceso difícil, pero está en la base de muchos avances de la ciencia. Recuérdense, a este propósito, las citas de Kuhn sobre ejemplares compartidos (Kuhn, pg. 291; citado en 1.2.(ii) anteriormente).

Si se tienen en cuenta simultáneamente los cuatro criterios establecidos, puede observarse que difieren entre sí de modo cualitativo. Esto pudiera parecer poco coherente con la idea de "avance del conocimiento", si el avance se

interpreta como un proceso que crece cuantitativamente sin discontinuidades. Sin embargo, esta interpretación parece bastante restrictiva. Aun sin entrar en la cuestión general de la diferencia entre los distintos tipos de conocimiento, téngase en cuenta que la idea de "avance", aplicada al conocimiento de la Física, significa un grado mayor de conformidad entre los conocimientos del alumno y los de un experto en la disciplina. Ahora bien, el hecho de que puedan definirse distintos grados de conformidad no implica necesariamente ausencia de discontinuidades; de hecho, en el mismo conocimiento del experto pueden distinguirse distintos tipos de conocimiento cualitativamente diferentes.

Al comentar los cuatro criterios establecidos, ha quedado apuntada una idea que conviene explicitar más: los cuatro criterios están ordenados de forma creciente por lo que respecta a la conformidad entre principiante y experto. En particular: la verbalización, por sí sola, indica un grado menor de conformidad que la aplicación de conceptos; ésta, a su vez, supone menor conformidad que el hecho de relacionar unos conceptos con otros; finalmente, la generalización de conceptos supone el mayor grado de conformidad de los que se consideran en este trabajo.

2. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Hablando de las características esenciales del trabajo científico, Gil Pérez (1983) hace notar cómo se da una amplia coincidencia en cuanto "al rechazo de la idea misma de «método científico», con mayúsculas, conjunto de reglas perfectamente definidas a aplicar mecánicamente ..." (l.c. pg. 26). Si en el campo de las Ciencias de la Naturaleza no se puede hablar de un conjunto rígido de reglas, mucho menos se puede hacer en el campo de la didáctica, sobre todo en una época, como la actual, en la que han aflorado con vigor nuevos procedimientos. Las consideraciones metodológicas que siguen están divididas en dos partes: la primera intenta establecer el marco de referencia conceptual en el que se encuadra el presente trabajo; la segunda describe y discute los procedimientos utilizados.

2.1. MARCO GENERAL DE REFERENCIA

2.1.1. La situación actual

Uno de los rasgos que presenta la investigación didáctica actual es la coexistencia de dos tipos de métodos: cuantitativos y cualitativos. La utilización de métodos cualitativos, posiblemente completada con la de métodos

cuantitativos, parece haber dejado de suscitar reticencias en la comunidad científica; el uso de esos métodos se va generalizando. Como observan Miles et al. (1984), "los estudios tradicionales experimentales y correlacionales no son suficientes... De hecho, cada día se hace más difícil encontrar algunos metodólogos que estén sólidamente acampados en una metodología o en otra. Más y más metodólogos «cuantitativos» que operan desde una posición positivista lógica están usando procedimientos naturalísticos y fenomenológicos para completar los tests, las tomas de medidas y las entrevistas estructuradas" (l.c. pg. 20).

El panorama que ofrece la investigación actual es consecuencia de cambios de énfasis producidos en los últimos veinte o veinticinco años. Como suele acontecer en épocas de cambio, el lenguaje técnico es todavía fluido, no se han fijado definitivamente algunos términos; tampoco se han delimitado con absoluta nitidez todas las categorías nuevas que se utilizan. Veamos todo esto con más detalle.

2.1.1.1. Los cambios.

Como escribe Pérez Gómez (1985), "los trabajos empíricos de observación y experimentación se desarrollan sobre la base de una limitación asumida: la imposibilidad física de recoger todas las actividades, procesos y

acontecimientos que tienen lugar en el aula, a menudo de forma simultánea. Por tanto, toda investigación asume un enfoque, una perspectiva selectiva, que determina el objeto de investigación en función del propio juicio sobre la importancia relativa de las diferentes variables, procesos que ocurren en el aula" (l.c. pg. 95). Cuando se eligen perspectivas distintas, pueden producirse cambios en el enfoque y modificaciones inevitables en los métodos.

Limitándonos al campo de la didáctica de las ciencias, vale la pena citar, como caso ilustrativo, el testimonio de algunos investigadores que, no sólo han cambiado sus perspectivas, sino que han reflexionado también sobre ese hecho. Un caso típico es el de Fensham (1983). Después de constatar cómo muchas investigaciones se habían concentrado en buscar las relaciones existentes entre los procedimientos didácticos aplicados y los resultados obtenidos, afirma: "Estudios más recientes han llevado a una cantidad creciente de hallazgos que nos exigen cuestionar los presupuestos básicos acerca del proceso de enseñanza de las ciencias... Los hallazgos son producto de la investigación (o métodos de investigación) que permiten abrir ventanas a la visión del mundo (o teorías científicas) que tienen los alumnos, en lugar de los estudios conducentes a medir éxitos o fracasos de los currícula..." (l.c. pg. 4). Más adelante, el mismo autor confiesa: "Mi propio pensamiento ha sido influenciado y reformado por dos acontecimientos recientes. En primer lugar, un número de equipos de investigación, hasta ahora

divergentes, han convergido en una metodología de estudio de casos para elucidar la base del alumno (o concepción previa) con relación a sus afirmaciones y acciones respecto a la ciencia... La segunda influencia procede de un número de estudios recientes que han investigado el deficiente conocimiento subyacente de la ciencia en alumnos que, en el sentido convencional, han tenido éxito en el aprendizaje del curriculum previsto" (l.c. pg. 5). Gunstone et al. (1988) - un grupo de investigadores al que pertenece el propio Fensham- describen los caminos por los que llegaron a una nueva visión en su universidad de Monash, Australia: "A finales de los 60, la investigación educativa estaba dominada por experimentos, figurando, como elemento importante, análisis estadísticos multivariados cuya principal preocupación era ver si un procedimiento era mejor que otro, en lugar de considerar cómo o por qué difieren los individuos... De acuerdo con esto, un número de los primeros estudios llevados a cabo en Monash... están marcados no sólo por su adherencia al método manipulativo y experimental, sino también por la forma en que contribuyeron a extender los modos de análisis de tales investigaciones" (l.c., pg. 14). "En una visión retrospectiva de la década pasada podemos identificar dos fases en nuestra investigación a medida que nos fuimos separando de experimentos que, aunque complejos en su diseño, estaban basados en modelos simples del proceso de aprendizaje. En primer lugar, exploramos la forma en que los alumnos comprenden los conceptos y los

fenómenos y reflexionamos sobre el modo en que se forman tales comprensiones. Posteriormente, prestamos atención a las estrategias de aprendizaje que siguen los alumnos" (l.c. pg. 517).

2.1.1.2. Fluidez en lenguaje y categorías.

No es extraño que, tanto los términos utilizados en los trabajos de investigación, como las categorías a que responden, no hayan adquirido aún la precisión rigurosa del lenguaje característico de la ciencia establecida. Cualquier cambio profundo en la perspectiva -y el que comentamos lo es- requiere un mínimo de tiempo para ser asimilado por la comunidad científica correspondiente y para consolidarse de forma definitiva.

A este respecto, se advierte, en primer lugar, que todavía no se han zanjado las discusiones acerca de lo que se entiende por "investigación cualitativa". Lythcott et al. (1990), por ejemplo, afirman que "es una cuestión discutible si la investigación cualitativa y cuantitativa son dos categorías de investigación distintamente diferentes; así, pues, está abierto a discusión el término «investigación cualitativa»" (l.c. pg. 447). El hecho de que no esté definitivamente fijado el significado del término implica el riesgo de que pueda ser entendido inadecuadamente. Por eso se ha creído que no es suficiente, para dar idea de los

procedimientos empleados en el presente trabajo, indicar que se han utilizado métodos cualitativos; es más informativo dar una descripción detallada de los mismos y eso se hará en la sección 2.2.

Un segundo fenómeno que puede observarse consiste en asociar métodos cualitativos con otros rasgos del trabajo de investigación, como si todo ello constituyera un enjambre indisociable; véase, por ejemplo, la tabla de Reichardt y Cook (1986, pg. 29), dos autores que, por lo demás, intentan superar la dicotomía cuantitativo/cualitativo. No obstante, conviene dejar bien claro el hecho de que la utilización de unos métodos u otros no implica necesariamente la aceptación de un modelo determinado de investigación. Como indica Guba (1985), "el conflicto entre los dos paradigmas [racionalista y naturalista] se ha confundido con frecuencia con el conflicto entre métodos cuantitativos y cualitativos... Pero, por supuesto, estas dos dimensiones son ortogonales; no hay razón intrínseca por la que ambos paradigmas puedan acomodarse y ser desarrollados por ambas metodologías" (l.c. pg. 150).

Un tercer fenómeno que puede constatarse es la inadecuación de algunas clasificaciones que han intentado ordenar tradiciones o grupos caracterizados por emplear métodos cualitativos. Como advierten Atkinson et al. (1988), "después de haber identificado los rasgos filosóficos y metodológicos de una tradición, uno encuentra que éstos son

compartidos con otras tradiciones. Aunque las personas que se ven a sí mismas como miembros de una tradición tienden a establecer contrastes nítidos entre sus trabajos y el de los otros, las relaciones entre los trabajos son, de hecho, mucho más complejas y sutiles... Muchos trabajos de calidad combinan, de forma explícita o implícita, énfasis que proceden de tradiciones diferentes, sin que por ello busquen establecer una nueva «tradición» (l.c., pg. 233).

A la vista de los comentarios anteriores, aparece la conveniencia de explicitar al máximo, en cualquier trabajo, presupuestos y detalles metodológicos. Un investigador que se ajuste en todos los detalles a un paradigma plenamente establecido dentro de la comunidad científica puede considerarse exento, tanto de discutir como de justificar, epistemológicamente, los procedimientos que sigue y el alcance de sus conclusiones, siempre que estas cosas hayan sido discutidas ampliamente por autores precedentes -y generalmente es ése el caso cuando el paradigma cuenta con amplia aceptación-. Por el contrario, una investigación que introduzca elementos metodológicos nuevos, se ve en la obligación de justificar con rigor esos elementos y de discutir con más detenimiento las conclusiones. En todo caso, hay que tener muy presente lo que afirman Lythcott et al. (1990): "La fiabilidad y validez de cualquier investigación está determinada por la coherencia de las relaciones entre métodos correctamente aplicados, razones legítimas empleadas al interpretar los datos y las fuentes,

y corrección de los argumentos establecidos al sacar las conclusiones" (l.c. pg. 447).

Antes de describir y discutir los métodos concretos empleados en este trabajo, se va a delinear de forma somera un sistema de referencia con el fin de ayudar a situar mejor los procedimientos empleados.

2.1.2. Sistema de referencia

Como todos los sistemas de referencia, el que se ofrece aquí es un instrumento elaborado para organizar y comparar mejor. El sistema tiene tres dimensiones correspondientes a tres características, sin duda relevantes, en la investigación didáctica: metas de la investigación, relación entre el investigador y el objeto de investigación y forma en que se elaboran y presentan los datos. Se supone que cada una de estas dimensiones permite establecer una gama bipolar, con referencia a la cual pueden ser catalogados los trabajos. Por supuesto, es posible considerar otras dimensiones, pero para el análisis de los procedimientos empleados aquí bastan éstas.

(i) Metas de la investigación: descripción y etiología.

Un investigador, después de haber delimitado el objeto de su investigación, puede proponerse dos metas distintas: describirlo o explicarlo. Se utiliza el término "explicar" en vez de la expresión "buscar nexos causales" porque ésta

es más problemática, dadas las dificultades de tipo filosófico que subyacen a la idea de causalidad. La búsqueda de claves explicativas de un fenómeno es un intento por comprenderlo mejor. A propósito del tema de la comprensión Howard (1989) sugiere un enfoque interesante según el cual "el comprender una cosa es conocer y encontrar (o construir) un esquema plausible que permite a uno asimilar esa cosa en lo que uno ya conoce" (l.c. pg. 117). (Se ha traducido por "asimilar" -palabra con un fuerte sabor plaquetiano en el contexto de la comprensión- el término inglés "assimilate", que también tiene el significado de "absorber", "ser absorbido dentro de un sistema"). Posiblemente no haya ningún trabajo de investigación que sea meramente descriptivo o meramente etiológico. Cualquier intento de explicación de un fenómeno supone, aunque sólo sea de forma implícita, una descripción del mismo. Análogamente, cualquier descripción, para que tenga sentido, necesita utilizar términos y categorías ya existentes. El mero hecho de elegir unas categorías y rechazar otras, considerar unos aspectos como relevantes y otros como insignificantes, lleva en sí el germen de la integración en un sistema y, consecuentemente, de la búsqueda de comprensión y explicación. A esta ineludible conexión entre las dos metas diferentes se hacía referencia antes, al hablar de bipolaridad. Los trabajos se sitúan, según el empeño de sus autores, más próximos a un polo o más próximos al otro, pero siempre sin salir de la línea que los une.

(ii) Relación entre investigador y objeto: trabajos experimentales y no intervencionistas. Se entiende que hay experimento cuando el investigador actúa sobre una o algunas de las variables que intervienen en un fenómeno y las modifica según crea conveniente. En el polo opuesto a la investigación experimental estaría la investigación no intervencionista, en la que el investigador se abstiene de cualquier actuación para modificar el sistema observado. La distinción es clara desde el punto de vista conceptual abstracto, pero surgen problemas cuando se cotemplan trabajos concretos. ¿Es posible la investigación no intervencionista en sentido estricto? Por otra parte, cuando interviene el investigador ¿qué tipo de fenómeno observa: un fenómeno "natural" o un fenómeno "artificial" que ha sido producido por su intervención?

La mera presencia del investigador en un proceso educativo -considérese, por ejemplo, el acontecer de un día en el aula- está introduciendo elementos nuevos que influyen en el proceso. Este, por tanto, deja de ser el proceso típico: adquiere ciertos rasgos que lo separan de lo ordinario. En la medida en que se acentúa el carácter experimental, el proceso se separa de lo que hubiera sido su curso natural.

Cuando se tiene en cuenta el polo de la no intervención surgen también interrogantes: la principal es la posibilidad auténtica de una investigación pura, de ese tipo.

Considérese, en primer lugar, un investigador extraño al proceso -un investigador, por ejemplo, ajeno al aula-. Ya se ha dicho que su mera presencia introduce modificaciones en el proceso. Aunque, en el mejor de los casos, profesor y alumnos se acostumbraran a su presencia, siempre se habría distorsionado el fluir natural del proceso, porque no es "natural" que se halle en el aula un elemento extraño. Supóngase un segundo caso: el investigador no está presente y emplea medios que no llegan a conocer los componentes del aula y que no influyen, por tanto en su conducta -cámaras de video, por ejemplo, ocultas y situadas en lugares estratégicos-. El proceso del aula sería entonces un proceso natural, pero ¿se ha garantizado la apertura necesaria para captar todas las potencialidades de lo natural? Los instrumentos no pueden ofrecer más que una imagen parcial y selectiva del proceso: la captada desde los ángulos escogidos de antemano y con los límites de capacidad de los instrumentos. Sin duda se perderían muchos matices que hubieran sido captados incluso con un ligero cambio en la panorámica visual o con una pequeña pregunta aclaratoria por parte del observador. Supóngase un tercer caso en que la investigación es llevada a cabo por alguien que participa de forma ordinaria en el proceso, como miembro natural del grupo en cuestión: piénsese en el maestro que lleva a cabo investigación no intervencionista en su aula. Es preciso admitir que, desde el momento en que el maestro comienza a hacer investigación, asume un nuevo papel, el de

investigador, y esto introduce inevitablemente modificaciones en la configuración social del aula y en las relaciones que se dan dentro de ella.

Resumiendo: cabe dudar de que sea posible una investigación sin que haya ningún tipo de intervención del observador; cabe dudar también de que la investigación experimental capte en su auténtica realidad el acontecer ordinario.

(iii) Forma de elaborar y presentar los datos: métodos cualitativos y cuantitativos. Al hablar de este tema, hay peligro de caer en cierta simplificación; la de considerar como cuantitativos solamente los métodos en que los datos numéricos, obtenidos a través de mediciones, se elaboran por procedimientos matemáticos, generalmente estadísticos, y de reducir a la categoría de cualitativos el resto de los métodos. En realidad, el tema es complejo y no hay una división tan tajante entre lo cuantitativo y lo cualitativo. ¿Son, por ejemplo, de la misma naturaleza los datos obtenidos por ordenación de conjuntos y los obtenidos por medidas estrictamente dichas? ¿Dónde situar, por ejemplo, los trabajos que utilizan sólo variables dicotómicas, pero que cuentan el número de sujetos en los que se da, o no, dicha variable? Piaget (1975) advierte: "En realidad, la cualidad y la cantidad son inseparables, y ello tanto desde el punto de vista genético como desde el punto de vista del análisis lógico o axiomático" (l.c. pg. 81). Poco después,

el autor precisa: "afirmar que la cualidad y la cantidad son indisolubles no significa en absoluto que sean idénticas: simplemente, son tan primitivas la una como la otra... no podría definirse una sin recurrir a la otra" (l.c. pg. 82).

Explicando más su pensamiento, Piaget (1975, pp. 84-87) distingue entre cantidad intensiva y cantidad extensiva. Según él se da la primera al relacionar el todo con una de sus partes: se sabe, en efecto, que el primero es mayor que la segunda, pero nada más. Es lo que sucede, por ejemplo en la lógica de clases que conoce sólo estas cantidades: uno, todos, algunos y ninguno. La cantidad extensiva, por su parte, puede presentarse bajo dos aspectos: uno métrico y el otro no métrico. Se da el segundo cuando, además de las relaciones del todo con cada una de sus partes, se reconocen las relaciones de éstas entre sí; "la lógica pura se limita a decidir entre «todos» y «algunos» pero no tiene nada que hacer con esa relación intermedia la cual constituye en realidad una fracción -pero de carácter indeterminado (incluida entre $>1/2$ y $<1/1$)- y por tanto extensiva" (pg. 85). Se da "cantidad numérica o métrica cuando en todo B, las partes complementarias A y A' pueden reducirse a una unidad común" (pg. 86).

A primera vista, pudiera parecer algo rebuscado el análisis de Piaget. En realidad es el resultado de su esfuerzo por esclarecer la construcción operacional del número. El mismo autor hace ver que las tres categorías que

distingue -cantidad intensiva, cantidad extensiva no métrica y cantidad extensiva métrica- tienen su aplicación en diversos campos del trabajo lógico o matemático. Por citar ejemplos: en la lógica de clases, en la geometría proyectiva y en la geometría métrica, respectivamente.

Las observaciones de Piaget pueden ayudar a matizar y precisar la aparente dicotomía entre métodos cualitativos y cuantitativos y aconsejan mucha cautela al utilizar esos términos. Un trabajo concreto puede acentuar el énfasis en el aspecto de la cualidad -comprensión de los rasgos comunes a los elementos de una clase lógica- o de la cantidad -extensión de la clase-; pero es muy difícil, si es que es posible en todo caso, indicar el punto que separa lo netamente cualitativo de lo netamente cuantitativo.

2.2. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

En el trabajo que ahora se presenta abunda lo descriptivo, aunque se elaboran en ocasiones elementos explicativos; se ha actuado dentro de un contexto fundamentalmente no intervencionista, aunque a lo largo de la investigación se modificaron algunas de las variables que intervenían en el proceso; se han empleado, por lo general, procedimientos cualitativos, complementados frecuentemente con tratamientos numéricos.

2.2.0. Por qué se han utilizado preferentemente métodos cualitativos

Con lo dicho en la Introducción queda aclarado en gran parte el porqué del carácter descriptivo y no intervencionista de una parte del trabajo. Conviene añadir algo sobre el uso de los métodos cualitativos.

En principio es posible orientar la investigación hacia la medida de un conjunto de indicadores que permita ordenar los conceptos de la Física según una escala de dificultad; esos indicadores podrían ser, por ejemplo, el tiempo requerido para la asimilación del concepto, el porcentaje de éxitos o fracasos cosechados por los alumnos al aplicarlo a situaciones concretas, el conjunto de problemas bien

resueltos en los que el concepto interviene como parte fundamental; etc. En primer lugar, estos indicadores tendrían que ser examinados a la luz de una teoría del aprendizaje bien fundamentada. Ya, de entrada, habría que decir que la complejidad de los fenómenos de aprendizaje se aviene mal con la simplicidad de los indicadores aquí apuntados. Pero, supóngase que se han resuelto todos los problemas, tanto metodológicos como de interpretación, que presentara una investigación de ese estilo; supóngase que se ha obtenido un índice de dificultad para los distintos conceptos o cuestiones; quedaría aún sin resolver lo más interesante desde el punto de vista de la didáctica: ¿qué camino se emprende, procediendo de manera racional, para superar esas dificultades? La utilización de métodos cualitativos permite indagar bien, por lo general, el tipo de dificultad que presentan las distintas situaciones y diseñar, en consecuencia, estrategias didácticas adecuadas. Al diseñar una estrategia didáctica interesa saber si un tema es difícil; pero interesa quizás más el saber por qué es difícil. El estudio de casos, con el seguimiento necesario, puede ofrecer indicaciones sobre el origen de las dificultades. Como observan Novak et al. (1983), "durante las últimas décadas una cantidad desmesurada de investigación educativa ha estado preocupada por las transformaciones estadísticas de los datos, ignorando a veces una descripción cuidadosa de los acontecimientos a partir de los cuales se han derivado esos datos registrados.

Los datos anecdóticos «están muy próximos a los acontecimientos» y pueden tener valor, así como validez, al construir el conocimiento y los valores" (l.c., pg. 639).

Es obvio que al utilizar este tipo de métodos habrá que proceder con mucho rigor y precisión si se quieren establecer conclusiones y generalizaciones. Un diagnóstico puede ser puramente descriptivo -y su validez dependerá del tipo de observaciones que lo apoyan- o puede incluir elementos etiológicos y ahí comenzaría a ser hipotético. Supóngase que, una vez elaborado el diagnóstico, se diseña la estrategia correspondiente. Considerando dos valores para el diagnóstico -correcto e incorrecto- y otros dos para la estrategia didáctica -adecuada o no adecuada a ese diagnóstico- se llega a cuatro situaciones posibles que están representadas esquemáticamente en la Tabla II.

TABLA II.- Situaciones resultantes de la combinación de diagnóstico y estrategia

Diagnóstico	Estrategia	
	Adecuada	Inadecuada
Correcto	DC y EA	DC y E \bar{A}
Incorrecto	D \bar{C} y EA	D \bar{C} y E \bar{A}

El significado de los símbolos de la Tabla es el siguiente: D=diagnóstico; E=estrategia; A=adecuado; guión sobre un símbolo=negación.

La consideración de la Tabla ayuda a ver las condiciones de verificación o falsación de la hipótesis supuestamente establecida por el diagnóstico. El hecho de que se obtengan unos buenos resultados, después de aplicar una estrategia determinada, podiera ser una confirmación de la hipótesis, ya que el fenómeno cabría, como caso particular, en la casilla superior izquierda (diagnóstico correcto y estrategia adecuada); pero no lo es necesariamente, porque el fenómeno es también compatible con la casilla inferior derecha (diagnóstico incorrecto y estrategia inadecuada): la estrategia habría dado buenos resultados precisamente porque es inadecuada al diagnóstico incorrecto. En contrapartida, la obtención de resultados negativos, después de aplicar una estrategia adecuada al diagnóstico, es incompatible con la situación descrita en la casilla superior izquierda, aunque pueda ser compatible con las otras tres situaciones. Así, pues, si la estrategia es ciertamente la adecuada al diagnóstico, los malos resultados indican con claridad que el diagnóstico no es correcto.

Como puede preverse, el estudio de los errores que cometen los sujetos en un tema determinado es más sugerente, desde el punto de vista de la investigación, que el de los aciertos, porque revela problemas concretos que se dan en la

situación de aprendizaje -cosa que no aparece tan manifiesta en el caso de los aciertos-. Es, pues, útil, diríase que necesario, tratar de identificar el tipo de errores que se dan e indagar por qué llegan los alumnos a cometerlos. Lo más adecuado, en muchos de los casos, para conseguirlo, es emplear procedimientos cualitativos. En los apartados siguientes se ofrece mayor información sobre los procedimientos empleados. En cada caso hay descripción y discusión del procedimiento.

2.2.1. Realización simultánea de enseñanza e investigación

A. Descripción

El trabajo actual se ha llevado a cabo mientras el autor estaba encargado de la enseñanza de la asignatura de Física en el último curso de EE. MM. Más aún, muchas de las observaciones se han realizado a lo largo del transcurso de la clase y los sujetos han sido, obviamente, los alumnos que componían el grupo de clase.

Las relaciones con los sujetos han sido, en la mayoría de los casos, las características de un profesor que se relaciona bastante con los alumnos. Dentro de este panorama ha habido una variante que es conveniente comentar. Durante el curso 1987/88 el autor estuvo encargado de la tutoría de uno de los grupos a los que enseñaba. Esto supuso un grado mayor de implicación personal, incluso desde el punto de

vista emotivo. Siguiendo las pautas que el centro tiene establecidas para los tutores, el autor tuvo asignada una hora más cada semana, en su horario lectivo, dedicada a tratar los temas específicos de la tutoría; mantuvo con los alumnos un número considerable de entrevistas personales, bastante más alto, en todo caso, que el habitual en el caso de los alumnos de los que uno no es tutor; finalmente, en su trato con los alumnos, se vio obligado a abordar muchos temas que, sin duda, eran bastante importantes para ellos, pero que tenían escasa incidencia en el objeto de la investigación en curso. El ser tutor llevó también al autor a relacionarle, de forma especial, con los padres u otros familiares de los alumnos y le dio la oportunidad de recibir de ellos informaciones que podían complementar lo que se observaba en el centro.

B. Discusión

(i) Cuando un docente está implicado en un trabajo de investigación -y más si éste concierne a los alumnos a quienes enseña- se ve afectado de una forma u otra por el hecho de investigar y esto, como ya se ha indicado, modifica de algún modo la situación que se pretende estudiar. La modificación puede ser sutil, pero parece inevitable. Es, pues, de la mayor importancia tomar conciencia del fenómeno y tenerlo siempre en cuenta. A decir verdad, la presencia de cualquier investigador, sea o no el profesor de la clase, influye en la situación. Ya se ha tratado antes de este

problema. Taylor et al. (1986) indican que, "aunque los investigadores cualitativos no pueden eliminar sus efectos sobre las personas que estudian, intentan controlarlos o reducirlos a un mínimo, o por lo menos entenderlos cuando interpretan sus datos" (l.c., pg. 20). Esto es lo que se ha procurado hacer a lo largo del trabajo.

De todos modos, la cuestión puede delimitarse más: ¿es aceptable que el docente investigue en su propia aula? Hay unas palabras muy sugerentes de Stenhouse (1987) que perfilan la respuesta: "Los profesores se hallan a cargo de las aulas. Desde el punto de vista experimentalista, las aulas constituyen los laboratorios ideales para la comprobación de la teoría educativa. Desde el punto de vista del investigador, cuyo interés radica en la observación naturalista, el profesor es un observador participante potencial en las aulas y las escuelas. Desde cualquier ángulo en que consideremos la investigación nos resultará difícil negar que el profesor se halla rodeado por abundantes oportunidades de investigar" (l.c., pp. 37-38).

Las afirmaciones de Stenhouse son bien claras. Convendría, quizás, añadirles estas consideraciones: bajo ciertos puntos de vista, el papel del profesor puede considerarse como una plataforma privilegiada para la investigación en la que se intenta observar el desarrollo ordinario de un proceso. En primer lugar, porque al ser el mismo profesor quien investiga, se evita la presencia de una

persona extraña al centro o, al menos, al aula y que, sin duda, produciría cierta mayor distorsión en el proceso docente. En segundo lugar, el hecho de ser profesor, permite dialogar con los alumnos de una manera totalmente natural y espontánea e incluso ampliar este diálogo con entrevistas personales; facilita el acceso inmediato a los trabajos que elaboran los alumnos -informes, resolución de problemas, exámenes, etc.- e impele a un seguimiento más estrecho de los alumnos, sobre todo de los que presentan dificultades de aprendizaje.

Stenhouse (l.c., pp.38-39) aborda las objeciones que se hacen a la combinación profesor e investigador. Entre ellas están: "los tests de precisión de automanifestaciones de los profesores indican que éstos no saben lo que hacen"; "la implicación en la acción de la escuela y del aula proporciona a los profesores un interés por la tendencia de los descubrimientos de la investigación y los condena a ser parciales"; "los investigadores consideran a veces a los profesores como teóricamente inocentes"; "el impedimento más serio para el desarrollo de los profesores como investigadores... es, sencillamente, la escasez de tiempo". Las objeciones son serias. Stenhouse las refuta. En realidad, más que de objeciones a la compatibilidad profesor e investigador, habría que hablar de peligros o limitaciones reales a los que está sometido el profesor que investiga y de los que, en consecuencia, debe tomar clara conciencia, tanto durante el tiempo en el que se recogen los datos, como

cuando se discute la validez y el alcance de las conclusiones.

Una consideración ética, para concluir este apartado: ¿es correcto, desde el punto de vista de la deontología, que dedique parte de sus energías a la investigación, durante el tiempo de docencia un profesional reconocido y remunerado socialmente para efectuar una tarea docente? El autor cree que sí. La razón es simple: la tarea de investigación, siempre que no disminuya la dedicación razonablemente exigida al profesor, en lugar de perjudicar a la tarea docente, la potencia. A través de la investigación el profesor puede adquirir un conocimiento mucho más completo de los alumnos con quienes trabaja y del proceso que éstos siguen. Todo ello puede contribuir, en gran manera, al mejoramiento de la actividad didáctica. Eso ha sido, al menos, lo que se ha experimentado mientras se realizaba este trabajo. Lo único que se requiere, en todo caso, es que al investigar no se pierda nunca de vista el papel de profesor y que, por añadidura, se dé cumplida satisfacción a las exigencias deontológicas de dicho papel.

(ii) El ejercicio de la tutoría merece un comentario más detallado. Al hacer balance después de un curso académico, la tutoría resultó, al parecer, ambigua desde el punto de vista metodológico, al menos por lo que se refiere al tema central de la investigación presente: dificultades de aprendizaje de los alumnos. A pesar de ello, no parece

desencaminado afirmar que la tutoría puede ser una plataforma muy prometedora para estudiar otros temas distintos del aquí abordado. Las razones de la ambigüedad percibida son las siguientes:

- En primer lugar, la mayor interacción con los alumnos no supuso, de hecho, mayores posibilidades de estudio de sus dificultades de aprendizaje. Se empleó mucho más tiempo en contacto con los alumnos, pero, durante ese tiempo, hubo que abordar, necesariamente, muchos temas que incidían poco en el objeto de investigación -dificultades experimentadas en el aprendizaje de la Física-. Además, el orden de prioridades, por lo que se refiere a los temas tratados en las conversaciones y al tiempo dedicado a cada uno de ellos, no fue, por lo general, el que hubiera aconsejado una distribución racional de los recursos dedicados a la investigación.

- En segundo lugar, las informaciones complementarias que ofrecieron los padres -tales como el tiempo que dedicaba al estudio el alumno en casa, las condiciones en que se llevaba a cabo ese estudio, el trato mantenido con los miembros de la familia, posibles problemas familiares, etc.- sirvieron, a veces, para comprender situaciones genéricas relacionadas con el aprendizaje, pero no para dilucidar con suficiente concreción problemas específicos relacionados con el aprendizaje de la Física.

- En tercer lugar, la tarea se vio complicada por la globalización afectiva de algunos alumnos. La pauta del centro es considerar al tutor como alguien que debe estar atento al proceso educativo en su totalidad, con la posibilidad de entrar en relación con los alumnos desde cualquier punto de este proceso. Dentro de este panorama, se pudo detectar que se mezclaban a veces, de forma complicada, los problemas de la asignatura del tutor -Física- con los de otras asignaturas e incluso con problemas más generales relativos a la marcha y organización del centro.

Para concluir este apartado convendría insistir en una matización. Las consideraciones que acaban de hacerse valoran el papel del profesor, que es tutor al mismo tiempo, solamente desde el caso particular del presente trabajo. Dada la naturaleza del asunto que se estudiaba, las ventajas fueron pequeñas, habida cuenta del tiempo y el esfuerzo requeridos por la función tutorial. Al comparar el conocimiento que se pudo adquirir, respecto al aprendizaje de la Física, en el caso de los alumnos de los que el autor era tutor y en el de los alumnos para quienes era meramente profesor, se constató que no existían grandes diferencias. Sin embargo, esta constatación no puede extrapolarse a todos los casos. La experiencia habida parece sugerir que, si el objeto de estudio hubiera sido distinto al elegido, el desempeño de la función tutorial -tal como ésta se lleva a cabo en el centro en el que se realizó el trabajo- hubiera podido tener indudables ventajas para la recogida de datos.

2.2.2. Procedimientos de observación

A. Descripción

(i) Circunstancias en que se desarrolló la observación.

La gran mayoría de las observaciones fueron realizadas mientras el autor estaba con los alumnos en el aula o en el laboratorio.

La observación en el aula tuvo lugar, sobre todo, mientras los alumnos ponían en común los resultados del trabajo del laboratorio o se ocupaban en resolver problemas (ejercicios numéricos) sencillos, como aplicación de los conceptos vistos con anterioridad. Esta última actividad de los alumnos revistió, por lo general, dos modalidades. Una fue la improvisación: al alumno se le presentaba un ejercicio y se le pedía que lo resolviera en un tiempo determinado que, de ordinario, no solía ser superior a 10 minutos; algunas veces se pedía al alumno que trabajara solo, pero fue más frecuente el que lo hiciera con otro u otros compañeros. La segunda modalidad fue la explicación en público, por parte de un alumno, elegido al azar en la mayoría de los casos, de la forma en que podría resolverse un ejercicio numérico preparado de antemano; el alumno que ejecutaba la tarea debía también responder a las preguntas que eventualmente le hicieran los otros alumnos o el mismo profesor. A veces el alumno se desenvolvía con soltura, pero

era más frecuente que encontrara dificultades y no supiera cómo seguir. Se hacía en ese momento intervenir a otros compañeros de la clase que respondían desde sus asientos ofreciendo sugerencias oportunas.

Es poco frecuente que los alumnos de COU dediquen un tiempo considerable al laboratorio de Física. Una de las razones por las que se eligió, para el presente estudio, a alumnos que estaban en el plan experimental fue que, dentro de ese plan, se recomendaba que se dedicara al laboratorio un tiempo considerable. Por añadidura, en el centro en que se llevó a cabo el trabajo, el laboratorio está bien acondicionado y permite evitar la aglomeración de los alumnos. Estos se agruparon en equipos de dos personas o, a lo sumo, tres. Su trabajo estuvo orientado por guiones que se les proporcionaron de antemano. Normalmente, los guiones no estaban dirigidos a comprobar cosas que se habían estudiado ya desde el punto de vista teórico, sino a solucionar algunos interrogantes. Ejemplos: ¿existe alguna relación fija entre tal y cual variable, dentro de un tipo determinado de situaciones? ¿Puede detectarse alguna regularidad en un tipo determinado de fenómenos? Lo ordinario fue dar pistas sobre las variables que convenía tener en cuenta o el tipo de datos que convenía recoger. No fue necesario, sin embargo, insistir mucho en detalles porque los alumnos que llegaban al último curso se habían ejercitado con anterioridad en técnicas tales como la

tabulación de datos, la utilización de gráficas y el manejo de instrumentos de medida.

(ii) Modalidades. Dentro del panorama que acaba de describirse se han practicado, básicamente, tres modalidades distintas de llevar a cabo la observación.

- Primera modalidad: observación simple. Consistió, sencillamente, en acercarse al alumno o al grupo y observar de cerca lo que se hacía o lo que se decía, sin tener ningún otro tipo de interacción con los sujetos. Desde sus primeros contactos con los alumnos, el autor les advirtió, en varias ocasiones, que pensaba seguir de vez en cuando ese tipo de comportamiento y que ellos no deberían preocuparse, sino continuar con espontaneidad su quehacer, como si el profesor no estuviera cerca de ellos. Al principio pudo observarse que algunos alumnos se inhibían un poco o intentaban hacer participar en su actividad al profesor y observador, haciéndole determinadas preguntas -¿está bien lo que estamos haciendo?, ¿cómo se sigue ahora?, etc.-. Por supuesto, la única respuesta a las preguntas era una invitación a seguir con el trabajo normalmente y a despreocuparse de la presencia del observador. Cuando hubo pasado algún tiempo, los alumnos se acostumbraron a esta forma de proceder y apenas si se notaban diferencias, en la manera de actuar de un grupo, cuando se les miraba disimuladamente o cuando se les observaba de forma patente.

- Segunda modalidad: preguntas. Al acercarse a un grupo de alumnos que estaban trabajando en el laboratorio o resolviendo un problema, el profesor y observador les pedía que explicaran el porqué de cada uno de los pasos que estaban dando. No les solía decir si el proceder que seguían era correcto o no. Si preguntaban los alumnos, se les solía responder formulando nuevas preguntas. A partir de ellas se procuraba que los alumnos reflexionaran sobre su trabajo y vieran si era o no el adecuado.

- Tercera modalidad: creación de conflicto mental. Se les decía a los alumnos algo que resultara incompatible con lo que ellos afirmaban o con lo que daban por evidente. Este procedimiento fue ensayado por el autor con otros alumnos de cursos anteriores (Vera, 1984, pp. 35-38). El procedimiento, en el caso presente, supuso, por lo general, una interacción grande con los alumnos; se les presentaban, con frecuencia, objeciones que les obligaran a revisar su línea de razonamiento, bien para confirmarse en ella, bien para corregirla, bien para cambiarla por completo.

B. Discusión

A propósito de la observación en clase, dice Giordan (1985): "Sin ser una panacea, es una buena aproximación que revela un conjunto de fenómenos específicos que se deben realizar... Nos proporciona, además, un buen número de elementos que se deben confrontar con otros, procedentes de otras fuentes de información. Permite, finalmente,

reencontrar con sentido didáctico hechos descritos por otros métodos" (l.c., pg. 12). Estas consideraciones de Giordan ponen de relieve varias ventajas de la observación en clase. Conviene, sin embargo, someter a una crítica más detallada los procedimientos empleados.

(i) Posibilidades ofrecidas por las diferentes modalidades de observación. No es difícil percatarse de que las modalidades consistentes en intervenir con preguntas, o creando conflicto, son mucho más fecundas que la observación por mera presencia física. La mera presencia permite sólo captar lo que acontece de manera perceptible y espontánea; cuando se interviene con preguntas u objeciones se hacen perceptibles -y, consecuentemente, observables- formas de actuar de los sujetos que en otras circunstancias hubieran permanecido ocultas. Son de capital importancia las respuestas de los sujetos. Pueden revelar la forma en que éstos entienden, encajan e intentan resolver las objeciones; los virajes en su discurso intelectual; las posibles sorpresas que experimentan al descubrir que no es tan claro lo que ellos creían que lo era; etc. Todas estas cosas son indicadores valiosos de lo que acontece en la mente de los alumnos y nunca, quizás, se hubieran puesto de manifiesto sin la intervención del observador.

(ii) Legitimidad. Generalmente, la intervención del observador obliga a los sujetos a matizar, a tomar conciencia refleja de lo que están haciendo, o a cambiar el

curso de su pensamiento cuando tienen que refutar objeciones. En último término hay una alteración del proceso que hubieran seguido, con toda verosimilitud, los alumnos y es presumible pensar que, lo que se está observando mientras se interviene activamente, no es el desarrollo de un proceso espontáneo de aprendizaje del alumno mientras trabaja en solitario o con sus compañeros, sino el proceso por el que el alumno interactúa con el profesor y observador. Esto es innegable. A primera vista pudiera parecer que la observación simple es preferible en una investigación en la que se desea estudiar el acontecer ordinario de un proceso y que los otros tipos de observación son como una especie de experimentación solapada, poco controlada, y de dudosa legitimidad. Para hacerse una idea más clara de la situación hay que considerar también otros aspectos del problema.

Uno de esos aspectos es lo que constituye en realidad el objeto de la investigación. No se desea estudiar las dificultades de aprendizaje desde el punto de vista psicológico, sino desde el punto de vista pedagógico y, en este sentido, es muy interesante la situación de interacción del profesor con el alumno; más interesante, sin duda, que la situación de alumno trabajando en solitario. Si se desea observar la interacción hay que ponerla en práctica y una forma de hacerlo es intervenir con preguntas u objeciones. Si se admite que el hecho de que el profesor interactúe con los alumnos es algo ordinario en la vida del aula, las intervenciones por las que se lleva a los alumnos a

reflexionar sobre su quehacer y a depurar críticamente sus opiniones, no son más que un caso particular de lo que puede ocurrir en el aula; cabe, pues, en la investigación de tipo no intervencionista.

Piénsese ahora en otro aspecto: el de la interpretación. En la observación simple se captan unas cosas perceptibles, que se interpretan como reflejo de lo que acontece en la mente de los sujetos. Esa interpretación es una especie de conjetura -y, posiblemente, nada más que eso- avalada por la convergencia y coherencia de datos procedentes de fuentes diversas, tales como la experiencia del propio razonar del observador o el conocimiento de situaciones análogas; fuentes, en todo caso, ajenas al fenómeno. La intervención con preguntas u objeciones permite someter a prueba, sobre el terreno y al instante, la conjetura mencionada. El observador adquiere más información y esto le permite actuar para que afloren nuevos datos, cuando considera que no está aún suficientemente fundada su interpretación de lo que está ocurriendo en la mente del alumno.

Las consideraciones precedentes permiten formular una alternativa: o se pone el énfasis en la no interferencia en el proceso natural de los sujetos -con el peligro de no llegar al fondo del proceso- o se insiste en evidenciar el proceso del sujeto a costa de alterarlo -con el riesgo de transformarlo en algo totalmente distinto a lo que se quería

observar-. Quizás la solución no esté tanto en una situación de compromiso cuanto en la utilización sistemática y alternante de ambos procedimientos y en la comparación continua de los datos que se obtienen desde ambas perspectivas.

(iii) Fiabilidad. ¿Qué fiabilidad tienen unas observaciones obtenidas en esas circunstancias? La pregunta es pertinente, porque las observaciones tienen un doble aspecto negativo que no se puede ignorar al utilizar los datos obtenidos por medio de ellas. Por una parte, las observaciones son fragmentarias; por otra, el registro de las mismas no se ha efectuado simultáneamente con el acontecer estudiado.

- La observación ha sido fragmentaria. Ciertamente, los alumnos no eran muchos: 29 y 30 en los grupos del primer año y 32 y 34 en los grupos del segundo año. Sin embargo, aunque los grupos no fueran muy numerosos, eran lo suficientemente grandes para impedir que se dedicara a las observaciones relacionadas con un alumno, o con un grupo de ellos, todo el tiempo que hubiera sido de desear. Al haber 14 o 15 equipos por grupo, la media de atención dedicada a cada equipo no podía ser superior a cuatro minutos, en el caso de clases ordinarias, o de ocho, en el de sesiones de laboratorio. Lo ordinario fue establecer contacto con cada equipo al menos dos veces por sesión; así parecía requerirlo la dinámica de la clase. Los contactos fueron, pues, cortos en general.

Además, el tiempo dedicado a algunas observaciones concretas no fue regulado solamente por las exigencias internas de éstas: cuando la marcha de la clase imponía una distribución determinada del tiempo no se dudó en aceptarla. Si, por ejemplo, el profesor está charlando con un equipo y hay otros que reclaman su atención, no queda otro remedio que reducir el tiempo que se dedica al primero.

- La forma en que se efectuó el registro de las observaciones presenta también ciertos problemas. Como es obvio, las notas sobre lo observado no se tomaron mientras se desarrollaba la clase; la obligación como profesor era otra. Al terminar las sesiones, sobre todo si se trataba de sesiones de laboratorio, el autor tenía en su memoria, por lo general, un cúmulo grande de impresiones que se superponían y, posiblemente, se solapaban. En estas circunstancias es presumible que, lo que se escribía después de las sesiones, no era exactamente lo que había pasado sino una reconstrucción de lo que había pasado: una reconstrucción, en la que los últimos acontecimientos podrían haber modificado las impresiones producidas por los primeros. El problema es sin duda serio, no obstante adquiere un poco de relatividad, cuando se mira sobre el telón de fondo que presenta cualquier observación y registro de un fenómeno humano. La reproducción de un acontecimiento, como réplica exacta, parece imposible. Siempre hay algo de selección en los enfoques y en las perspectivas. Aunque se utilizaran grabadoras y cámaras de

vídeo, es imposible escapar a la selección de perspectivas de ángulos de visión y audición, así como a otras limitaciones de los instrumentos.

Resumiendo las consideraciones anteriores puede decirse que las observaciones, tal como se han realizado, tienen limitaciones que habrá que tener en cuenta de forma permanente. A pesar de ello, las limitaciones no invalidan los datos obtenidos en dichas observaciones aunque, por supuesto, obliguen a confrontar permanentemente esos datos con los obtenidos por otros procedimientos.

2.2.3. Estudio de los materiales escritos por los alumnos

A. Descripción

"La utilización ponderada de materiales escritos o impresos -escribe Woods (1987)- constituye un apoyo útil a la observación. Una vez más, lo mejor es considerarlos como elementos cuasi-observacionales ... y como parte del abanico de posibles métodos a emplear, como una consecuencia o como un precursor de otros" (l.c., pg. 105). En el trabajo presente, los materiales escritos han servido a, veces, como contraste a la observación participante; en otras ocasiones han suscitado ideas sobre puntos que había que observar; el papel fundamental, no obstante, de los materiales escritos ha sido el de servir de soporte permanente para estudios comparativos.

(i) Materiales utilizados. Los materiales escritos de que se ha dispuesto han sido de cuatro tipos: informes de laboratorio, problemas resueltos, trabajos monográficos y exámenes; un pequeño apéndice lo constituyen las respuestas abiertas a una encuesta. Si se mira en su totalidad, se trata de una cantidad ingente de material, aunque de valor diferente por lo que respecta a los propósitos del presente trabajo. Por supuesto, como profesor, el autor tuvo que leer todos los exámenes y trabajos para poder calificarlos. Por lo que respecta a los problemas resueltos y a los informes de laboratorio, se convino en la norma de utilizar un sistema de muestreo: cada día se pedían esos trabajos a uno o dos alumnos, a quienes correspondiera según una tabla de números aleatorios.

- Los trabajos monográficos consistieron en desarrollar un tema determinado -generalmente la interpretación de uno o varios fenómenos- en unos cuatro o cinco folios. No fue muy frecuente este tipo de trabajos.

- La resolución de problemas se efectuó casi a diario. Se solía encomendar a los alumnos lo hicieran en casa, dos o tres ejercicios numéricos en cada ocasión, y que los trajeran escritos. De ordinario, se corregían en clase dichos problemas pero, antes de efectuar la corrección, se pedía a uno o dos de los alumnos su cuaderno.

- Bajo el término "informes de laboratorio" se entiende todo lo que los alumnos escribían en su cuaderno de

laboratorio al realizar las prácticas. Su contenido abarca, por tanto, esquemas del montaje experimental utilizado, registro de datos a medida que se van obteniendo, clasificación y presentación de los mismos, discusiones sobre procedimientos, conclusiones, etc.

- Mayor atención merecen los papeles de examen pues han constituido la parte más importante del material escrito analizado. La estructuración típica de un cuestionario de examen, de los que se han utilizado, responde básicamente a los criterios, para juzgar el avance del conocimiento, que se han adoptado en este trabajo (véase sección 1.2.2). En consecuencia, en el cuestionario hay preguntas que tienen por objeto ver si el alumno verbaliza conceptos cuya memorización es imprescindible -por ejemplo, al dar definiciones precisas de algunos conceptos básicos-; otras preguntas están preparadas para ver si el alumno aplica bien los conceptos -utilización concreta de cálculos, resolución de problemas numéricos, aplicación de leyes generales a situaciones concretas, etc.-; otras preguntas están diseñadas para ver cómo relaciona el alumno dos o más conceptos de la Física; otras, por último, tienen como finalidad poner de manifiesto si el alumno es capaz de abordar, con los instrumentos mentales de que dispone, situaciones completamente nuevas. Este último tipo de preguntas no ha aparecido en todos los cuestionarios.

B. Discusión

(i) Utilización de los materiales. El hecho de que el autor fuera profesor de los alumnos cuyo proceso de aprendizaje se estudiaba, impuso unas condiciones en lo que se refiere al uso de los materiales. Hubo que leer todos los exámenes y trabajos. Por lo que respecta a problemas resueltos y a informes de laboratorio, se convino con los alumnos en una norma: corregir cada día dos ellos, los que salieran elegidos al azar. La lectura de los materiales estuvo presidida por lo que se creyó que era más conveniente para los alumnos, desde el punto de vista didáctico. Sin embargo, las exigencias de la investigación impusieron un uso diversificado de los materiales: su lectura vino impuesta por el papel de profesor; su relectura, y algunos análisis, por el hecho de estar investigando unos problemas concretos.

Como es obvio, las indicaciones que se hacen a los alumnos para que elaboren un material concreto están determinadas por criterios pedagógicos; por otra parte, una de las finalidades principales de la lectura de los materiales escritos, sobre todo de los exámenes, es disponer de datos para la evaluación continuada de los alumnos. Así, pues, tanto las indicaciones sobre elaboración como la recogida, revisión y corrección de la mayor parte del material escrito, fue dictada por intereses pedagógicos que coincidían en parte, aunque no en su totalidad, con los del presente trabajo. Pero hubo cierta simbiosis: la primera lectura de los materiales, impuesta por las exigencias del

papel de profesor, sirvió, generalmente, para elegir el material que se sometería a un estudio más detallado -esta vez, sí, por exigencias de la investigación-; ese estudio, por su parte, ayudó en muchos casos a evaluar mejor.

(ii) Valor de los materiales. El valor de cualquier material está condicionado, en gran parte, por las circunstancias en que ha sido elaborado y por los fines que perseguían sus autores al elaborarlo. Es prácticamente imposible, y probablemente poco rentable, obtener toda la información relativa a las circunstancias precisas en que se efectuó la elaboración, y a las intenciones concretas de los autores de cada documento. Para los propósitos del presente trabajo, es suficiente tener en cuenta algunas pautas generales que son comunes a los materiales escritos estudiados.

- Los informes, los problemas resueltos y los trabajos monográficos se pueden englobar en una primera categoría. Se supone que el alumno se ha tomado todo el tiempo que ha creído necesario para elaborarlos; hay que presumir que estos materiales no han sido escritos bajo la sensación de agobio y premura. Por otra parte, el alumno ha podido consultar e incluso pedir ayuda a otras personas para elaborar ese material. Lo que se manifiesta en este tipo de materiales no es necesariamente indicador ni de las posibilidades reales del alumno, cuando cuenta con sus propias fuerzas, ni mucho menos de sus procesos espontáneos

de razonamiento. A pesar de ello, estos materiales son interesantes y merecen ser analizados porque indican, de algún modo, lo que el alumno es capaz de asimilar. Obviamente, no se puede dar por supuesto que todo lo que aparece en el material escrito haya sido asimilado por el alumno; hay que comprobar la existencia y alcance de la asimilación. Para ello, por supuesto, es preciso utilizar otros métodos, tales como preguntas concretas o ligeros cambios de impresiones.

- Una segunda categoría la constituyen los exámenes. Un papel de examen hay que tomarlo como un trabajo en el que el alumno hace generalmente un máximo esfuerzo: en la situación de examen se juega mucho más que en un informe diario de laboratorio, por ejemplo, que tiene además considerable probabilidad de no ser calificado. Por otra parte, en la situación del examen el alumno trabaja bajo tensión -una tensión que lleva a algunos al bloqueo por nerviosismo-. En el examen, además, el alumno tiende a manifestarse, no tal cual es, sino como cree que debe aparecer ante el profesor para aprobar el examen; se detiene a veces en cosas que pasa por alto en condiciones normales y se apoya más en la memoria que en el razonamiento espontáneo -cosa que quizás no suceda en el acontecer de la vida ordinaria-.

Por las razones apuntadas puede colegirse la ambivalencia de los papeles de examen para rastrear el proceso del alumno. Precisamente por eso, la utilización del

papel de examen, sin otros datos complementarios, puede dar origen a imágenes distorsionadas. Para completar y contrastar la información obtenida a través de los papeles de examen, se mantuvieron entrevistas con los alumnos en los días que siguieron a las pruebas. Se volverá sobre este punto al hablar de las entrevistas.

(iii) Aspectos que se tuvieron en cuenta al estudiar el material escrito. Un primer análisis del material escrito, elaborado por el alumno, permite distinguir puntos que éste trata bien, puntos que trata mal y puntos a los que no contesta. La estadística de los distintos aciertos, errores u omisiones se ha utilizado bastante en algunas partes de este trabajo. Además de ello, se ha prestado gran atención al análisis detallado del tipo de errores que suelen cometer los alumnos cuando responden; para ello se han tenido también en cuenta los datos extraídos de las entrevistas, en las que esos errores se comentan con los interesados. A lo largo del desarrollo de ese análisis emergieron, a veces, pistas que llevan a esclarecer por qué un concepto determinado es especialmente difícil de asimilar.

Los errores y los aciertos pueden interpretarse con cierta facilidad; sin embargo, las omisiones, las ausencias de contestación a una cuestión determinada, son más difíciles de interpretar y ofrecen cierta ambigüedad. Cuando la omisión está muy generalizada, puede tomarse como indicador de la dificultad relativa de una cuestión: en

igualdad de circunstancias, es presumible que sean más sencillas las cuestiones a las que contesta la mayoría de los alumnos que aquéllas que se dejan en blanco. Sin embargo, y aun en este caso simple, la omisión no da información alguna sobre el porqué de la dificultad.

2.2.4. Entrevistas

A. Descripción

Como indican Lythcott et al. (1990), "las entrevistas y los protocolos de pensar en voz alta, destinados a examinar los modelos de conocimiento relacionado con las formas de proceder y expresarse de los alumnos, son una fuente principal de datos" (l.c., pg. 445). Esos mismos autores discuten problemas críticos y metodológicos relacionados con la entrevista y aportan la bibliografía pertinente.

Las entrevistas realizadas a lo largo de este trabajo no pertenecen al tipo de intercomunicación al que precede una previsión cuidadosa de los detalles y al que subyace un cuestionario bien concreto, al menos en sus puntos esenciales. Las entrevistas han sido, más bien, conversaciones informales con los alumnos, ocasionadas por motivos diversos; pero conversaciones en que sólo había dos interlocutores: el alumno y el autor. La duración de las entrevistas fue muy variable, oscilando entre ocho o diez

minutos, en el caso de las más cortas, y alrededor de media hora, en el caso de las más largas.

Los motivos para hacer surgir la entrevista fueron muy variados. El desempeño de la función tutorial con uno de los grupos, comentado en páginas anteriores, ofreció muchas oportunidades para mantener entrevistas, pedidas con frecuencia por los mismos alumnos; en ellas, sin embargo, se trataban, a veces, sólo marginalmente los problemas relacionados con el presente trabajo. En general, el motivo más frecuente de las entrevistas fue charlar con los alumnos sobre sus exámenes y comentarlos con ellos. Estas entrevistas solían durar entre quince minutos y media hora. Después de corregir los exámenes, se invitaba a los alumnos para que vieran de nuevo lo que habían escrito y lo comentaran con el profesor, habida cuenta de las correcciones hechas; se les insistía en que eso podría ayudarles a comprender mejor sus fallos y a subsanarlos. Quienes deseaban mantener la entrevista se inscribían en una lista y eran llamados en días sucesivos para hacer la revisión del examen. El número de voluntarios varió desde un 80% de la totalidad, en el caso de un examen cuyos resultados fueron anormalmente bajos, hasta un 30% en el caso de exámenes menos complicados. Hubo ocasiones también en que, tratando con alumnos que quizás no se habían apuntado en la forma antes descrita, el autor les indicó abiertamente que deseaba hablar con ellos acerca de los problemas que encontraban en el aprendizaje; los alumnos

solían acudir con gusto. Hay que advertir que los así invitados eran, muchas veces, aquéllos que parecían tener dificultades especiales o, sencillamente, estar perdidos en la marcha de la clase. En algunas ocasiones se invitó a alumnos que no iban del todo mal, pero que no obtenían resultados acordes con el esfuerzo que aparentemente realizaban. En estos últimos casos, las conversaciones giraban más bien en torno a los hábitos de estudio.

Además de las entrevistas descritas hubo también ocasiones en que se abordó a los alumnos, fuera del tiempo de clase y en intervalos de tiempo de muy pocos minutos, con preguntas concretas acerca de las dificultades que parecían tener sobre algunos puntos. Otras veces, en esos encuentros cortos, se les pedía que indicaran lo que ellos consideraban más fácil o más difícil dentro de la materia que se había visto durante las dos o tres últimas semanas.

B. Discusión

Comentando algo experimentado en su propio trabajo de investigación, Lederman et al. (1990) advierten: "Las respuestas que dan los alumnos cuando se utiliza este procedimiento de recogida de datos [tests de papel y lápiz] son vagas y, con frecuencia, son interpretadas mal por los investigadores ... En consecuencia, la utilización de la entrevista para recoger y clarificar los datos referentes a lo que creen los alumnos parece ser algo esencial si se

quiere evitar el peligro de las malas interpretaciones" (l.c., pg. 235).

Las entrevistas realizadas a lo largo del trabajo han servido para aclarar las dudas existentes al interpretar la forma de actuar de algún sujeto; pero también han sido utilizadas para confirmar algunas cosas intuidas, aunque no apoyadas aún por datos empíricos concretos; las entrevistas han proporcionado sugerencias para planificar observaciones ulteriores. Dicho esto, se pasa a informar sobre las limitaciones de las entrevistas efectuadas.

(i) Dentro del marco en que se ha llevado a cabo el trabajo, se imponía dosificar las entrevistas. Ello era debido a que éstas tenían que ser realizadas durante el tiempo de recreo o fuera del horario lectivo y, ni una cosa, ni otra, agradaba generalmente a los alumnos. Por supuesto, en los casos en que los alumnos pidieron la entrevista, no se dio este problema; pero esto ocurrió en muy pocas ocasiones, si se exceptúa el grupo en el que se actuó como tutor.

(ii) Para que el alumno acuda con interés a la entrevista, es preciso que la considere útil e interesante. Estas condiciones pueden satisfacerse fácilmente si se trata de sujetos que experimentan dificultades serias en el estudio; pero éstos no constituyen normalmente la población ordinaria. A quienes siguen un curso normal puede parecerles innecesario e inútil dedicar un tiempo a hablar de su

aprendizaje; se ha observado a algunos alumnos que cortaban las conversaciones, iniciadas por el autor, con frases como: "las dificultades que tengo son las normales". Por este motivo, hay cierto sesgo en la información obtenida a través de las entrevistas ya que, en gran parte, se nutre de lo que aportan los alumnos con algún tipo de problemas en el aprendizaje. Esto constituye, sin duda, una distorsión que hay que tener en cuenta al manejar los datos.

(iii) En las entrevistas -al menos en las del tipo utilizado- el alumno no actúa, por regla ordinaria, como cuando está aprendiendo la Física; sencillamente, relata cosas que cree haber sentido o experimentado y esto ofrece dificultades de interpretación, porque los adolescentes no tienen aún formado el sentido crítico que pudieran aplicar a las propias reflexiones. Sus afirmaciones son, a veces, poco matizadas y no es raro que hagan generalizaciones sin más base que la que puede aportar un hecho aislado o anecdótico.

(iv) Es discutible el procedimiento que se empleó para diseñar y realizar las entrevistas. En principio se podría pensar en una estrategia muy distinta: hacer menos entrevistas, aunque hacerlas más estructuradas y con mayor detenimiento. Esta es una posibilidad interesante. Sin embargo, dadas las circunstancias en que se realizó el trabajo, se creyó más fecundo utilizar las entrevistas como apoyo instrumental para diseñar las estrategias y para interpretar datos obtenidos por otros procedimientos. Desde

esa perspectiva era preferible -así, al menos, se creyó- seguir el camino descrito: muchas entrevistas, aunque cortas y poco estructuradas.

2.2.5. Intercambios con otros compañeros

A. Descripción

Al tratar de los criterios de credibilidad de los procedimientos no intervencionistas, se suele hablar del juicio crítico de otros investigadores y de la triangulación (Guba, 1985). Uno y otra son dos formas de contraste, dos maneras de someter a crítica tanto el trabajo del investigador como la calidad de sus datos. En esta línea de contrastación -y en el caso particular de una investigación que se lleva a cabo por un docente- hay que hablar de una cosa quizás modesta, pero interesante: los intercambios con otros compañeros docentes. Las apreciaciones de éstos pueden servir, sobre todo, para contrastar las formas en que el profesor y observador interpreta los signos perceptibles procedentes de los alumnos y su entorno. No es raro que, al recoger los datos, unos fenómenos perceptibles se interpreten como indicadores de otras cosas que no se perciben de forma inmediata. En su trato habitual con los alumnos, cualquier profesor tiene oportunidades para comprobar si la forma en que interpreta las actuaciones perceptibles de éstos es la adecuada. Cuando el profesor es

experimentado puede esperarse que sus actuaciones sean de calidad y, por tanto, válidas como contraste.

A lo largo del trabajo se han mantenido intercambios con otras personas dedicadas también al ejercicio de la docencia. Las relaciones han sido de tres tipos: (1) intercambios con profesores de Física de otros centros; (2) intercambios con profesores de otras asignaturas que enseñaban a los mismos alumnos estudiados en este trabajo; (3) intercambios con profesores de otros centros y de otras asignaturas, pero interesados en problemas concretos planteados en este trabajo.

B. Discusión

El procedimiento de los intercambios ha tenido una incidencia escasa en el presente trabajo; de hecho, no ha sido utilizado de manera sistemática a lo largo de su realización; su uso ha sido más bien esporádico y eventual. Aquí se menciona porque se ha visto que puede ser enriquecedor.

El procedimiento no dio mucho juego porque las condiciones en que se empleó impusieron serias limitaciones.

Por una parte, en el centro en que se realizó el trabajo no había otros profesores de Física enseñando en el último curso. El autor tuvo la posibilidad de encargarse sólo de uno de los grupos y tener así la oportunidad de cambiar impresiones con el profesor del otro; pero ello

hubiera supuesto renunciar al estudio simultáneo, y bajo condiciones análogas, de dos grupos que ofrecían diferencias interesantes: en las asignaturas optativas y en la orientación profesional. Pareció que era más fecundo el poder contrastar, de forma inmediata y permanente, las actuaciones de los dos grupos, que el tener la posibilidad de intercambios con otro compañero.

Por otra parte, el intercambio con profesores del mismo grupo, pero de asignaturas diferentes, no aportó mucho. Pueden explicar el hecho estas dos razones: a) las habilidades requeridas para seguir los distintos programas difieren en bastantes puntos; b) los profesores encargados de cursos, que preparan la selectividad, suelen estar agobiados por problemas de tiempo y de eficacia y no encuentran muchas oportunidades para tratar temas que no tengan incidencia clara en sus asignaturas.

Antes de terminar esta discusión es justo reconocer que algunos de los intercambios mantenidos con profesores seriamente preocupados por los problemas que aquí se abordan, han sido muy fecundos, tanto para interpretar datos, como para hacer más plausibles algunas hipótesis.

3. TRABAJO DE CAMPO

La presentación del trabajo de campo se ha distribuido en cuatro secciones: en la primera se describe la composición de los grupos estudiados y el entorno en que se movieron; en la segunda se estudian algunas características de los grupos que están relacionadas con el aprendizaje; en la tercera se aborda la competencia terminológica de los alumnos y en la cuarta sus formas de proceder al resolver los problemas.

Antes de redactar el capítulo se han sopesado dos posibilidades: (a) hacer dos grandes apartados dedicados, respectivamente, uno a presentar los datos y otro a la interpretación y reflexión; (b) formar varios bloques, según las exigencias del tema estudiado, e incluir en cada bloque datos, interpretación y reflexión.

Pudiera pensarse que la primera posibilidad, la (a), ofrece la ventaja de una separación nítida entre dato e interpretación. Pero esa ventaja no es tan obvia, porque se funda en unos presupuestos cuestionables desde el punto de vista epistemológico. Valgan como aclaración de este aserto unas palabras de Holton et al. (1984): "Es imposible realizar una observación escueta, esto es, adquirir conocimiento aislado de un «hecho» sin que, al mismo tiempo, intente la gente interpretarlo ... La percepción debe llegar

al pensamiento y conocimiento por vía conceptual ...". "Puesto que los «hechos» no pueden discernirse sin disponer de armas intelectuales, es evidente que el científico debe disponer de ideas preconcebidas y asociaciones, justificadas por los buenos resultados que hayan dado... Lo que se requiere en la ciencia, como en otras muchas actividades de la vida, es la precaución en su uso" (l.c., pg. 285).

Además de lo problemático de sus supuestas ventajas, la posibilidad (a) presenta el inconveniente de separar los razonamientos de su punto de apoyo. Por eso se ha optado por la segunda vía, la (b), y se ofrecen interpretaciones y reflexiones al presentar cada subconjunto de datos aunque, por supuesto, procurando tomar todas las precauciones que sean necesarias para evitar confusiones. El no separar además, tipográficamente, la reflexión y la base empírica que la sustenta ofrece, por otra parte, cierta comodidad para la lectura.

3.1. NATURALEZA Y ENTORNO DE LOS GRUPOS ESTUDIADOS

Los grupos estudiados han sido cuatro: dos, durante el curso 87/88 y otros dos durante el curso 88/89. Los cuatro han estado integrados por alumnos del último curso del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza. Dentro del plan experimental, este nivel es el correspondiente al COU del plan vigente. A los grupos estudiados a lo largo del curso

87/88 se les designará en lo sucesivo como A87 y B87; a los grupos estudiados durante el curso 88/89 se les designará como A88 y B88.

3.1.1. Composición de los grupos

Algunos datos relativos a la composición de los grupos se incluyen en la Tabla III.

TABLA III.- Composición de los grupos estudiados

Curso:	1987/88		1988/89	
	A87	B87	A88	B88
Total alumnos	29	30	32	35*
Varones	20	13	20	16
Mujeres	9	17	12	19
% varones	69.0	43.3	62.5	45.7
% mujeres	31.0	56.7	37.5	54.3
Repetidores	2	2	2	8
Límit.edad**	3/68-12/70	1/69-1/71	3/68-12/71	10/68-10/71

* Un alumno abandonó los estudios en el primer trimestre.

** Al hablar de los límites de edad se consignan, en cada grupo, el mes y el año de nacimiento de dos de sus miembros: el más joven y el más viejo.

El criterio seguido por el centro para distribuir a los alumnos del mismo curso en distintos grupos fue el de reunir, dentro de lo posible, alumnos que tuvieran las mismas asignaturas optativas. Este criterio pudo aplicarse sin excepciones durante el curso 87/88. Los alumnos del grupo A87 tuvieron como optativas Ampliación de Matemáticas y Sistemas de Representación (Dibujo Técnico), mientras que los del B87 tuvieron como optativas Biología y Biología de la Salud. En el curso 88/89 no fue posible agrupar a todos los alumnos con las mismas optativas. Los miembros del grupo A88, más 9 (7 varones y 2 mujeres) del grupo B88 cursaron Ampliación de Matemáticas y Sistemas de Representación; los restantes alumnos del B88 cursaron Biología y Biología de la Salud. En la población estudiada, los hombres optan mayoritariamente por Ampliación de Matemáticas y Dibujo Técnico, mientras que las mujeres lo hacen por Biología y Biología de la Salud.

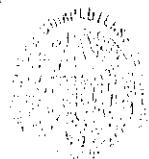
El número de repetidores que aparece en B88 no está relacionado con las asignaturas optativas. De hecho, tres de esos repetidores habían optado por Ampliación de Matemáticas

y Sistemas de Representación. Así, pues, hubo cinco repetidores en cada uno de los grupos de asignaturas optativas.

A primera vista puede llamar la atención el aumento del número de repetidores en el curso 88/89: 250% con relación al curso precedente. Sin embargo, el dato no es tan llamativo cuando se enmarca en un contexto más amplio. En efecto, de los 35 alumnos que cursaron en este nivel a lo largo del 86/87, repitieron 4, es decir, el 11.4%, mientras que de los 59 matriculados en el curso 87/88 repitieron 10, es decir, 16.9%.

3.1.2. El entorno de los grupos

Se describen a continuación, muy brevemente, algunas características del centro en el que se realizó el trabajo de campo. La descripción es selectiva: se tienen en cuenta solamente características relevantes para el aprendizaje de la Física. Toda selección establece un acotamiento y hace más manejable la información, aunque introduce el riesgo de ignorar aspectos importantes. La acotación, sin embargo, es una exigencia metodológica y la selección puede utilizarse como indicador de algunos presupuestos iniciales: si se eligen unos rasgos determinados es porque se consideran relevantes; ya ello apunta el tipo de rasgos que se consideran.



El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro Covadonga, un centro homologado de BUP y COU, sito en la calle Cadarso, 18, de Madrid. Su titular es la Fundación Hogar del Empleado. El centro es una antigua filial del Instituto de Bachillerato "Ramiro de Maeztu".

En lo que sigue se van a describir sólo tres características del centro: el marco en que se desenvuelve su labor, la organización del equipo docente encargado de la enseñanza de la Física y los recursos disponibles.

3.1.2.1. Marco en que se desenvuelve el centro

En el año 1983 la Dirección General de EE. MM. inició un programa experimental de escuela secundaria no diferenciada en BUP y FP, como parte de un proyecto amplio, encaminado a la reforma de las EE. MM. El Centro Covadonga se adhirió desde el primer momento a ese programa y comenzó a llevarlo a la práctica a lo largo del curso 1983/84. En años sucesivos el centro fue ampliando progresivamente el ámbito de aplicación del programa experimental. Cuando comenzó a realizarse el trabajo de campo, todos los grupos del turno diurno estaban incluidos en el programa y los del nocturno continuaban en el plan tradicional. Por lo que respecta a los grupos estudiados, hay que indicar que los alumnos habían seguido el plan experimental desde que iniciaron su estancia en el centro.

El plan experimental tiene dos ciclos, cada uno con dos años de duración. El primer ciclo se considera como enseñanza obligatoria, está dirigido a toda la población que termina EGB, se imparte indistintamente en centros de BUP y FP y tiende a situarse en la corriente de escuela secundaria obligatoria, predominante en la O.C.D.E., cuyas características se han descrito en otro lugar (Vera Blanco, 1986). El segundo ciclo se diversifica y tiene seis modalidades que comparten un núcleo común y se diferencian en asignaturas específicas. Los alumnos de los grupos estudiados seguían la modalidad del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza.

No es cuestión de describir aquí con minuciosidad las características del programa experimental. Además, algunos detalles iniciales del programa cambiaron con el tiempo, frecuentemente porque así lo aconsejaba lo que había podido percibirse en el seguimiento del programa. En el capítulo 1 se ha hablado de las indicaciones del MEC relativas a la asignatura de Física; detalles que afectan a otros temas pueden verse en publicaciones o en documentos internos del MEC (1983, 1985 c y 1985 d, para el primer ciclo y 1985 a, y 1985 b, para el segundo). Hay dos aspectos de la tarea educativa, que resaltan sobre todo en el primer ciclo y en los que conviene detenerse. Se trata de la manera de actuar frente a los objetivos, tal como los proponen los planes experimentales y los desarrolla el centro, y del énfasis puesto en la experimentación, más en concreto en el trabajo

de laboratorio o actividades similares. La especial relevancia que tienen estos dos aspectos en el primer ciclo se debe a que las diferencias entre el programa experimental y el plan de estudios vigente son más acusadas en el primer ciclo que en el segundo.

(i) El plan experimental, en ambos ciclos, describe los objetivos educativos. Pero el diseño del primer ciclo es mucho más explícito, asocia de forma más concreta los objetivos con la evaluación y calificación del alumno, y prescribe la necesidad de que éste consiga, satisfactoriamente, algunos de los objetivos para poder promocionar.

La formulación de objetivos, tanto en el proyecto de centro como en cualquiera de sus áreas, puede convertirse fácilmente en letra muerta, si no es asimilada por el profesor e integrada en su quehacer docente. En el caso que nos ocupa, los profesores del primer ciclo tomaron como reto profesional el calificar adecuadamente a los alumnos por referencia a los objetivos y ello, entre otras cosas, les obligó a reunirse con frecuencia y a reflexionar conjuntamente, aunque sólo fuera para ponerse de acuerdo respecto al significado de los objetivos, la incidencia de cada uno de ellos en las distintas áreas de conocimiento y los criterios para evaluar su consecución.

(ii) En el programa experimental del primer ciclo se habla del "desarrollo satisfactorio de la habilidad para

observar" (MEC,1983 d, pg.32), de "manejar con soltura los instrumentos más sencillos de medida y observación, tales como el calibre, la balanza, la probeta, el termómetro, la lupa..." (ib. pg. 33); se menciona la iniciación a la experimentación, el "elaborar un diseño experimental, aunque sea rudimentario, para investigar la relación existente entre dos variables determinadas..." (ib. pg.34); se insiste en la realización de trabajos prácticos: emisión de hipótesis, realización de experiencias, interpretación de resultados, etc. (ib. pg. 39). En pocas palabras: el desarrollo adecuado del programa es inimaginable sin dedicar una parte considerable del curso al trabajo experimental.

El profesorado entendió bien esto y organizó la enseñanza en consecuencia. Los alumnos del primer ciclo solían pasar en el laboratorio alrededor del 40% del tiempo lectivo dedicado al área de Ciencias de la Naturaleza. En el segundo ciclo, no obstante, la proporción de tiempo lectivo dedicado al laboratorio fue sensiblemente inferior.

3.1.2.2. Organización del equipo educativo

Al hablar en este apartado de "equipo educativo" o "equipo docente" se tienen en cuenta solamente los profesores encargados de la enseñanza de Ciencias de la Naturaleza.

(i) Integración. Una vez comenzado el bachillerato experimental en el Centro Covadonga, los seminarios de Física y Química, por una parte, y el de Ciencias Naturales, por otra, se fundieron en un único seminario. Es muy probable que esta fusión estuviera condicionada por la necesidad de coordinación que impuso el estudiar conjuntamente las distintas disciplinas -Física, Química, Biología y Geología- siguiendo las pautas de los programas de ciencia integrada, como el proyecto Nuffield por ejemplo. A este modo de enseñanza se adapta muy bien un tipo de laboratorio polivalente, en el que lo mismo se pueden trabajar temas de Biología que de Física, por citar un caso concreto. De hecho, los laboratorios del Centro Covadonga se habían montado así. Es ésta una razón más por la que los profesores del área sintieron la necesidad de planificación y organización conjunta, sobre todo si se piensa que sólo había dos laboratorios en el centro y que estaban ocupados la mayor parte del día, correspondiendo distintas horas de utilización a grupos diferentes. De nuevo hay que distinguir entre primero y segundo ciclo: aunque en éste existía coordinación del equipo docente, dicha coordinación era sin duda mucho más pequeña que la que se daba en el primer ciclo. La especialización por asignaturas en el segundo ciclo según la pauta tradicional, y no ya la ciencia integrada, como en el primero, contribuyó, quizás, a que los profesores miraran como algo más lejano a ellos lo que no era estrictamente de su especialidad.

(ii) Sincronización de la tarea docente. Cuando había más de un profesor en un mismo nivel -por ejemplo, dos o tres profesores en ciencias de primero, de segundo, etc.- se procuraba sincronizar la tarea docente: las respectivas unidades didácticas se comenzaban y se terminaban casi en los mismos días por parte de todos los grupos, cuatro, del mismo nivel. De esa forma, las pruebas y tests podían ser los mismos para todos los alumnos y había la posibilidad de administrarlos simultáneamente. Por supuesto, dentro de la sincronización se daba cierta flexibilidad.

(iii) Utilización del mismo modelo de examen para todos los grupos. Lo ordinario era que el cuestionario de examen fuera el mismo para todos los alumnos del mismo nivel, sobre todo en el segundo ciclo, en el que los exámenes de cada asignatura eran a la misma hora para todos los alumnos del mismo nivel. Esta última circunstancia se introdujo para impedir que los alumnos se pasaran información sobre el tipo de examen. Los profesores no sólo utilizaban el mismo modelo de examen; hacían algo más importante: solían llegar a un acuerdo sobre los criterios de corrección y puntuación.

(iv) Corrección de informes. A lo largo del primer ciclo el equipo docente dedicaba bastante tiempo a la corrección de informes elaborados por los alumnos. Estos informes no contenían sólo la presentación y discusión de los resultados obtenidos en el trabajo de laboratorio; eran

La sala de audiovisuales y la biblioteca son otros dos recursos que merecen comentario. La primera no fue muy utilizada por los alumnos de ciencias. Este hecho resulta más comprensible si se tiene en cuenta que los alumnos empleaban un alto porcentaje del tiempo lectivo en trabajos de laboratorio; a ello hay que añadir la orientación seguida en la enseñanza de las ciencias, sobre todo en el primer ciclo: se daba más importancia al trabajo experimental realizado por los alumnos, que al efecto que pudiera tener en ellos el contemplar demostraciones realizadas por el profesor o por los expertos que habían preparado el vídeo. La biblioteca, en el área de ciencias, tenía una dotación mucho más limitada que en el área de lenguas o humanidades; no obstante, se disponía de ocho o diez modelos distintos de libros de texto de COU, cuatro o cinco obras del nivel inmediato superior, alguna de nivel más elevado, una enciclopedia de las ciencias y la técnica, una historia de las ciencias, libros de historia de las distintas disciplinas científicas estudiadas en el centro, algunas obras de divulgación científica y una revista del mismo género. La biblioteca era accesible, normalmente, durante los días lectivos y el servicio de préstamos funcionaba con fluidez.

3.2. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS ALUMNOS RELACIONADAS CON EL APRENDIZAJE

En esta sección se van a estudiar cuatro características de los alumnos, que se han considerado relevantes, por lo que respecta al aprendizaje de la disciplina y que parecen influir en el poco éxito obtenido por muchos alumnos. Las características son: sus expectativas en relación con el profesor, su motivación e interés por la asignatura, sus hábitos de trabajo y el grado comparativo de dificultad al afrontar distintos aspectos de la disciplina.

La mayor parte de la información relacionada con estos aspectos se adquirió por los métodos mencionados en el capítulo 2. Además, se pasó a los alumnos una encuesta durante los primeros días de curso. Con ella no se buscó tanto establecer una línea de base que permitiera comparaciones cuantitativas, cuanto buscar, desde el principio, pistas que facilitaran el enfoque de las observaciones subsiguientes. Al pasar la encuesta se hizo ver a los alumnos que sus respuestas podrían contribuir a mejorar la enseñanza y, consecuentemente, su propio rendimiento académico. La encuesta no era anónima: cada respondiente se identificaba y esto permitía comentar posteriormente con él o ella las respuestas e, incluso, compararlas con los datos que proporcionaba la observación,

a medida que avanzaba el curso. Al ser la encuesta nominal, se indicó repetidamente a los alumnos que podrían dejarla sin contestar, en todo o en parte. De hecho, el porcentaje de respondientes fue alto: 96.6% en el grupo A87, 93.3 % en el B87, 96.6% en el A88 y 100% en el B88. Sin embargo, casi todos los encuestados dejaron alguna que otra cuestión sin contestar. Este hecho se ha tenido en cuenta al elaborar los porcentajes. El texto de la encuesta y los resultados de la misma pueden verse en el Anexo I.

Hubiera sido poco aconsejable pasar la misma encuesta, u otra parecida, a final de curso y comparar los datos. El motivo de esto es el cambio notable de la situación en que se pasaría la encuesta una y otra vez. Era presumible un cambio notable en lo que respecta al interés para contestar con detenimiento: a principios de curso, los alumnos podían esperar que sus respuestas ayudaran a diagnosticar y pronosticar los problemas que encontraban en el aprendizaje pero, a finales de curso, cuando se preparaban para una etapa totalmente distinta, diagnóstico y pronóstico presentaban menor interés; aparte de que muchos hubieran considerado totalmente inútil responder esquemáticamente a unas cuestiones que habían tratado con el profesor en un diálogo directo, de tú a tú. Un segundo cambio en la situación afecta a la objetividad que pudiera esperarse de las respuestas: dado que en el sistema de calificación de los alumnos, que se seguía en el centro contaba también el trabajo realizado por ellos a lo largo del curso, y no sólo

la competencia demostrada en los exámenes, era de prever que los alumnos, incluso inconscientemente, tendieran a distorsionar las respuestas que pudieran afectar a su imagen de estudiante.

3.2.1. Expectativas respecto al profesor

En la encuesta mencionada se pidió a los alumnos que indicaran lo más importante, según ellos, en el profesor de Física y lo que éste debería evitar a toda costa. Respondieron el 93.7% de los encuestados.

La cuestión era de tipo abierto y por ello el tratamiento de las respuestas se hace algo más difícil; no obstante, una cuestión de tipo así era más indicada para obtener mayor riqueza de matices. Hubo una variedad muy amplia en las respuestas; ello hace que, con pocas excepciones, no se manifestaran coincidencias en las expectativas expresadas. La información recogida en la encuesta se completó, como era habitual, por otros procedimientos. Al tratar ahora el tema se seguirá el siguiente procedimiento: establecer una somera clasificación y descripción de las respuestas, tal como aparecen en la encuesta, y reflexionar después sobre las mismas, utilizando también, al hacerlo, el resto de la información obtenida. En el tratamiento se tendrán en cuenta, conjuntamente, las

respuestas dadas por todos los alumnos, sin hacer distinción de grupos.

3.2.1.1. Clasificación de las respuestas a la encuesta

Las respuestas son, en último término, expectativas de los alumnos respecto al profesor, expresadas unas veces de manera afirmativa y otras de forma negativa. En la descripción que sigue se procura conservar, en gran parte, el mismo lenguaje de los alumnos. Cuando una idea aparece más de una vez en las respuestas se indica el hecho escribiendo después de la idea, y entre paréntesis, un número que indica las veces en que dicha idea aparece en las respuestas. Las indicaciones de los alumnos se han agrupado en cinco categorías: competencias del profesor, actividades que debe realizar o evitar, cualidades que deben predominar en su actuación, actitudes respecto a los alumnos y forma de relacionarse con ellos, otras actitudes.

(i) Entre las competencias o capacidades del profesor se mencionan: entender bien la asignatura, discernir lo importante y lo accidental, tener cualidades para enseñar, una pedagogía adecuada para hacer entender, capacidad de transmitir ideas y conocimientos, facilidad de expresión, ser muy observador.

(ii) La actividad principal del profesor es explicar (aparece mencionada, de forma directa o indirecta, 56

veces). En muchos casos, al hablar de la explicación, se indica cómo debe ser ésta: debe mantener una proporción equilibrada entre teoría y ejercicios o problemas, sin que predomine la teoría (15); debe ceñirse a lo esencial y sin rodeos (6), ni ampliaciones innecesarias; debe hacer ver las aplicaciones prácticas (10) y utilizar los ejemplos de la vida real (3), introduciendo a los alumnos en los temas como si fuera su mundo; debe insistir en los aspectos difíciles, no dejar cabos sueltos, no extenderse a varios puntos simultáneamente, no utilizar demasiados tecnicismos (2), no limitarse a un libro y no dar muchos datos; debe estar dirigida a todos los alumnos y no debe ocupar todo el tiempo de la clase.

Otra actividad es la relacionada con la regulación y supervisión del trabajo de los alumnos. La mayoría de los que mencionan este tema se refieren a los problemas o ejercicios numéricos. Según las respuestas, los profesores deben mandar muchos problemas (6), aunque sin agobiar al alumno con trabajo excesivo (2); los ejercicios deben corregirse en clase (2), deben ser más difíciles que los que aparecen en los exámenes y deben hacerse después de haber visto la correspondiente teoría; el profesor debe supervisar el trabajo de los alumnos en grupo y seguir de cerca las experiencias de laboratorio, sin que se realice nunca la actividad de laboratorio antes de haber visto la correspondiente teoría en clase. Se mencionan también acciones relacionadas con la calificación: el profesor debe

tener en cuenta todo el trabajo realizado por el alumno y no sólo los exámenes (2), no debe poner problemas difíciles en los exámenes, ni poner notas a los alumnos cuando éstos salen a la pizarra. Otras actividades deseables del profesor son: organizar bien la asignatura (3), preparar muy bien las clases, incitar al razonamiento y a los cálculos mentales, dar conocimientos que ayuden para la universidad, repasar (2), captar la atención del alumno y mantenerla (2), infundir gusto por la asignatura y evitar la desigualdad de nivel en clase.

En varias respuestas se habla de algo que puede ser considerado más como una tarea que como una disposición: hacer comprender (3); el profesor debe asegurarse de que todos han comprendido (3), no puede limitarse a "echar una parrafada" sin comprobar si se ha comprendido, debe evitar que los alumnos queden descolgados (9) y, para ello, debe repetir cuantas veces sea necesario (6), y no pasar a otro tema sin haber dejado claro el anterior (2). Por eso debe evitarse el dar fórmulas sin que esté el concepto claro (4), y el complicar el temario.

(iii) Cualidades del profesor o de su actuación. Lo que más se pide es la claridad (49). Sigue la amenidad, que se expresa bien de forma directa (3), bien de forma indirecta: que las clases no sean aburridas (15), ni monótonas (10). El ritmo debe ser constante (2), adaptado al propio ritmo de los alumnos (9), sin prisas (10), aunque sin detenerse

demasiado en los temas, e incluso procediendo con lentitud en las cuestiones difíciles. Otras cualidades mencionadas son: la sencillez (7), la concisión (5) y la adaptación al nivel de los alumnos (2), no sólo de los más avanzados, la concreción (2) y la rigurosidad científica.

(iv) Actitudes y formas de relacionarse con los alumnos. El profesor debe mantener una buena relación con los alumnos, crear un clima amistoso para facilitar las consultas, ser accesible, evitar el distanciamiento, preocuparse por los alumnos (3), sobre todo por los atrasados, ponerse a su disposición ofreciéndoles ayuda y comprenderse con ellos, ya que necesitan más ayuda en esta asignatura; debe procurar que todos lleven un nivel no igual, sí al menos parecido; debe también tranquilizarlos y conseguir que no se sientan tensos cuando se les pregunta (2); debe evitar la preferencia por algunos (2), el abuso de los alumnos, faltarles al respeto, comparar a unos con otros, criticarlos frente a los demás, inspirarles confianza (2), agobiarlos y limitarse sólo a los que tienen posibilidades; por supuesto, debe conocer a los alumnos.

(v) Otras actitudes. Entre las positivas están la paciencia (3), la apertura a nuevas ideas (2), la tolerancia, el ser exigente, aunque sin excederse; y no pedir más que lo que dan de sí, cuando el nivel de los alumnos es bajo. Se rechaza que el profesor sea autoritario.

impositivo, rutinario, que no escuche, que no ponga interés o que se despreocupe de todo.

3.2.1.2. Reflexión sobre las respuestas

Hasta aquí se ha recogido lo que los alumnos manifestaron al comenzar el curso. Las manifestaciones revelan, de forma indirecta, la concepción de los alumnos sobre la docencia; pero, además, dejan entrever algunos rasgos del papel del profesor, ya que el papel de una persona, en último término, es "el conjunto de los comportamientos que los demás esperan legítimamente de su parte" (Stoetzel, 1966, pg.177). Ciertamente, las expectativas que acaban de citarse no son un inventario completo: a los alumnos se pidió que escribieran dos sugerencias, con lo que ellos creyeran más importante. Por otra parte, las expectativas no están suficientemente generalizadas, en la mayoría de los casos, como para poder decir que definen el papel del profesor. Si la dispersión que se observa en la población estudiada, fuera representativa de lo que sucede en la población escolar nacional, tendríamos un indicio claro de que el papel de profesor está definido de una forma muy difusa. Esto es algo que podría presentar serios inconvenientes en las relaciones entre profesor y alumnos. Hay, además, otro problema: las

expectativas representan lo que unos alumnos u otros consideran como fundamental en el profesor y, si éste no responde a esas expectativas, es de tener una falta de entendimiento mutuo. Más adelante se volverá sobre este punto. De momento, sólo recordar que las reflexiones que siguen no están basadas solamente en las respuestas a la encuesta; como se indicó, se han utilizado también informaciones recogidas a lo largo del curso.

(1) Concepto de la asignatura. Los alumnos suelen ver la asignatura como un entramado complejo de teoría y práctica, entendiendo por "teoría" un conjunto de conceptos, modelos, conclusiones científicas y demostraciones de esas conclusiones -sobre todo las deductivas, llevadas a cabo con razonamientos matemáticos-. Al hablar de "práctica", los alumnos no se refieren generalmente a una aplicación que utilizara las conclusiones científicas para obtener metas apetecidas en las situaciones de la vida real, ni a manipulaciones, diseño de experimentos, montaje, etc.; se refieren, más bien, a la realización de ejercicios numéricos, que sean concreción y utilización de las expresiones utilizadas en la teoría; se refieren también a la solución de problemas, al proceso que requiere combinar los cálculos y el uso de principios teóricos para hallar el valor numérico de una incógnita, en función de unos datos, con la condición de que esos datos sean los que se necesitan justamente y sólo ellos. Los ejemplos de la vida real se conciben, no tanto como

situaciones susceptibles de ser modificadas por la aplicación de la ciencia, cuanto como casos ilustrativos que permiten captar mejor el significado de las expresiones científicas abstractas y de los términos utilizados en ellas. Los alumnos apenas valoran actividades típicas de un físico que investiga, tales como deducir las implicaciones que se siguen de una hipótesis, diseñar y llevar a cabo experimentos, criticar los resultados con rigor, buscar expresiones matemáticas que expresen, de forma precisa, las relaciones entre variables, etc.

(ii) La tarea fundamental que asigna al profesor la mayoría de los alumnos, es la de transmitir ese entramado complejo de teoría y práctica de que se hablaba antes. El entramado presenta problemas de comprensión; por eso el profesor debe hacer comprender, debe explicar con toda claridad los contenidos conceptuales y conseguir que se entiendan bien. Es fundamental, en la tarea del profesor, aminorar las dificultades de la asignatura a través de sus ilustraciones y aclaraciones. Junto a eso, se piensa también, aunque menos, en la organización del trabajo y en las calificaciones. Las respuestas a la encuesta no incluyen, entre las tareas, importantes aspectos como la orientación profesional, la ayuda para adquirir buenas técnicas de trabajo, la labor de diagnosticar los problemas de aprendizaje y proporcionar pronósticos adecuados, el servir como modelo de referencia para ciertos tipos de conductas, etc. ¿Será, quizás, porque los alumnos asociaban

estas actividades a la labor tutorial y disociaban el papel de profesor y de tutor? O ¿será, más bien, porque la experiencia que han tenido, con distintos profesores, no les lleva a fijarse en esos aspectos?

(iii) No deja de ser chocante la idea que tienen sobre la Física, al comenzar su último año de EE. MM., unos alumnos que, durante los dos años del primer ciclo, estuvieron en contacto con un tipo de enseñanza en la que presumiblemente realizaron, con frecuencia, actividades típicas del quehacer científico y en la que se puso gran énfasis en el desarrollo de las capacidades básicas. El hecho pudiera explicarse por una persistencia de la imagen de la Física que los alumnos se formaron al establecer sus primeros contactos con ella en la EGB. Sin embargo, las conversaciones mantenidas con los alumnos a lo largo del curso, sugieren otra explicación. Los alumnos se quejaron frecuentemente del cambio brusco entre el primer ciclo experimental y el segundo. En éste predominaban los contenidos conceptuales, mientras que en el primero predominaban los contenidos procedimentales. La extensión de los temarios y las características de los exámenes de selectividad, eran las causantes de las diferencias existentes entre los dos ciclos; e incidían también en los intereses y motivación de los alumnos. De poco sirve, por ejemplo, insistir en la importancia del laboratorio, si los alumnos saben por informaciones que ese trabajo apenas va a influir en la calificación final. Los alumnos conocían la

existencia de preguntas, supuestamente experimentales, a las que era posible contestar bien, aunque no hubiera habido entrenamiento en el laboratorio. ¿A qué molestarse con un trabajo experimental que consumía tanto tiempo? Varios alumnos miraban con frustración al primer ciclo, así como al énfasis que, a lo largo del mismo, se ponía en el trabajo experimental y en el desarrollo de aptitudes; todo esto lo consideraban como un paréntesis que quebró la marcha que habían emprendido en EGB y que consistía en "aprender" gran número de contenidos conceptuales, cuyo recuerdo puede demostrarse fácilmente en un examen. Para estos alumnos contaba poco el que hubiera aumentado presumiblemente su capacidad de razonar, su habilidad para diseñar y realizar experimentos, su creatividad; esos conceptos eran un tanto lejanos para ellos y, a fin de cuentas, no se materializaban -así al menos creían ellos- en notas más altas a la hora de la selectividad.

(iv) Se ha hablado antes de la posibilidad de que se dé algún desconcierto cuando la imagen de la asignatura y del docente que tienen los alumnos, no se ajusta a la que tiene un profesor concreto; el aprendizaje puede perder efectividad, porque el alumno no valora adecuadamente las tareas que le encomienda el profesor o las formas de comportamiento de éste. Valga, como ilustración de lo dicho, lo que se refiere a continuación. Durante el primer trimestre del curso 87/88 se dedicaron varias clases a actividades que tenían como finalidad el que los alumnos

encontraran, por sí mismos, expresiones matemáticas adecuadas para representar movimientos ondulatorios. Algún tiempo después, al preguntárseles su opinión sobre la marcha del curso, los alumnos del grupo A87 dijeron que tenían la sensación de haber estado perdiendo el tiempo porque, según ellos, las conclusiones a que habían llegado hubieran podido ser aprendidas fácilmente, sin necesidad de molestarse en "descubrirlas". Ante eso, se puso en marcha una estrategia consistente en cambiar radicalmente de método: durante las semanas siguientes se siguió el procedimiento de explicación pura y dura, en clases magistrales; a base de pizarra y tiza, con un ritmo rápido y sin que los alumnos apenas pudieran hacer otra cosa que no fuera tomar apuntes. Se esperaba que esto aburriera a los alumnos o, al menos, les produjera cansancio. Con sorpresa para el autor, en un cambio de impresiones habido después de varias semanas, los alumnos se mostraron muy satisfechos con las clases magistrales y sólo pidieron algo más de lentitud en el ritmo. Al parecer era ese tipo de clases lo que respondía a sus expectativas.

(v) Lo dicho en los apartados anteriores sugiere ser precavidos. Cuando se desea introducir innovaciones pedagógicas, no basta con prestar atención en exclusiva al profesorado o a la elaboración de proyectos didácticos. Es preciso prestar atención también a las expectativas de los alumnos, puesto que el intento innovador puede quedar fallido si no se consigue modificar esas expectativas. Como

señalan Escudero et al. (1984), "la renovación pedagógica o innovación educativa, también innovación curricular, presenta más que otra cosa, hoy por hoy, un desafío planteado al sistema educativo, al profesorado y a los mismos alumnos" (l.c., pg. 7). (El subrayado es mío). Un descuido en este aspecto puede invalidar cualquier intento de reforma.

3.2.2. Motivación e interés por la asignatura

Uno de los factores que influyen considerablemente en que se produzca el aprendizaje significativo, es el interés del sujeto mismo por aprender de esta manera (Coll, 1986; Coll et al., 1989). Obviamente, este interés sólo puede inferirse a través de indicadores externos o a partir de las manifestaciones de los propios sujetos. Es plausible suponer que, si un alumno siente verdadera afición por la asignatura, se implicará bastante más en un aprendizaje significativo, ya que el aprendizaje puramente memorístico, desconectado de lo ya conocido, difícilmente le reportaría la satisfacción de profundizar en un campo por el que siente inclinación. No es ya tan obvio el suponer que se implique en el aprendizaje significativo un alumno cuyas motivaciones son más extrínsecas; sin embargo, si ese alumno considera la asignatura como algo importante para acertar en la elección de su futuro próximo (opción profesional), o para el trabajo que desea realizar en el futuro (quehacer profesional), es

razonable pensar que estudiará la asignatura a fondo y no sólo como algo que hay que preparar para un examen, aunque luego se olvide. Estos son los presupuestos que sirvieron como organizadores para buscar información relativa a los factores siguientes: gusto por la asignatura y grado de utilidad que se ve en ella de cara al futuro. Este tipo de información se buscó desde principios de curso y, por supuesto, se tuvo en cuenta al elaborar la encuesta inicial. Como suele haber alumnos que, a principios del último curso de EE. MM., no tienen aun decidida la opción profesional, se imponía hacer una distinción. Así, pues, en la mencionada encuesta, a los alumnos que tenían hecha la elección profesional se les preguntó por las relaciones que preveían entre la Física y la profesión a la que se encaminaban; a los que aún no tenían hecha la opción profesional, se les preguntó hasta qué punto creían que podría ayudarles la Física para realizar con acierto la opción de futuro que, en todo caso, tendría que estar decidida al acabar el curso. A continuación se presentan de forma comentada las respuestas a la encuesta.

(1) Por lo que se refiere al gusto por la asignatura, sólo el 34% del total de la población manifiestan que la Física está entre las asignaturas que más les gustan; para un 7.1% está entre las que menos les gustan; para un 47.6 % está en un lugar intermedio; algunos alumnos no contestan a este apartado. Los porcentajes varían cuando se analizan por grupos; así, el 48.3% de los alumnos del A87 sitúan a la

Física entre las asignaturas que más les gustan, mientras que sólo el 22.9% del B88 lo hacen así. En general, a los grupos A les gusta más la Física que a los grupos B: 48.3% frente a 30.0% en el curso 87/88 y 37.5% frente a 22.9% en el curso 88/89.

Por lo que respecta a la opción profesional, un total de 88 alumnos, 69.8% de la población total, respondieron dando por sentado que ya la tenían hecha, mientras que 31 alumnos, 24.6% del total, se manifestaron como si no la hubieran hecho. 7 alumnos no respondieron a esta cuestión.

La Tabla IV recoge las respuestas de quienes han hecho la opción profesional. Estas respuestas se refieren a la importancia que dan a la Física. La Tabla V es análoga a la IV y recoge las respuestas de quienes no han hecho aún su elección profesional.

TABLA IV.- Importancia atribuida a la Física por quienes han hecho ya la opción profesional (cuestiones 4.1-4.4 de la encuesta)

Cuestiones	n				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A87	7	8	1	1	24.1	27.6	3.4	3.4
B87	0	7	10	2	0.0	23.3	33.3	6.7
A88	7	11	1	3	21.9	34.4	3.1	9.4

B88	3	13	8	6	8.6	37.1	22.9	17.1
Total	17	39	20	12	13.5	31.1	15.9	9.5

n = número de respondientes a cada cuestión.

% referido a la población respectiva.

Cuestiones: ven la Física como esencial (1), como una ayuda necesaria (2), como algo útil, aunque no necesario (3), como algo poco relacionado con el trabajo futuro (4)

TABLA V.- Importancia atribuida a la Física por quienes no han hecho aún la elección profesional (Respuestas a cuestiones 5.1-5.3 de la encuesta)

Cuestiones	n			%		
	1	2	3	1	2	3
A87	7	1	2	24.1	3.4	6.9
B87	1	4	3	3.3	13.3	10.0
A88	3	1	4	9.4	3.1	12.5
B88	2	0	3	5.7	0.0	8.6
Total	13	6	12	10.3	4.8	9.5

n = número de respondientes a cada cuestionario.

% referido a la población respectiva.

Cuestiones: Ven la Física como algo que puede ayudar mucho (1), o poco (2), para aclararse en la elección profesional; o bien carecen de datos para responder a esas cuestiones (3).

(ii) Es patente la diferencia entre los grupos A y los grupos B por lo que respecta a la Física. En los grupos A se la valora más. Para interpretar esto puede pensarse en la opción de optativas en cada uno de los grupos: Ampliación de Matemáticas y Dibujo Técnico en los A, Biología y Biología de la Salud en los B. Puede tenerse también en cuenta que la mayoría de los alumnos de los grupos A se orientaba hacia carreras técnicas, mientras que bastantes de los grupos B estaban orientados a diversas ramas de Ciencias de la Salud. Considerando conjuntamente todos estos hechos, surge una pregunta: ¿Es la afición por unas asignaturas determinadas la que lleva a elegir ciertas carreras o, por el contrario, es el deseo de prepararse para una profesión determinada lo que configura el interés y el gusto por las asignaturas más relacionadas con esa profesión? La pregunta parece interesante y tiene su importancia, por lo que puede suponer para el futuro profesional del adolescente el que sus primeros contactos con una asignatura sean agradables o desagradables. No se exploró más esta cuestión, a pesar de

su interés, porque se consideró que iba más allá de los límites fijados al presente trabajo.

Más importante aún que las diferencias de gustos y valoración entre los distintos grupos, es el hecho de que algunos alumnos, uno de cada siete, manifestaron que consideraban la Física como algo poco relacionado con su trabajo futuro. Se pensó que esa entrada debía pensar que esos 18 alumnos, al no estar suficientemente motivados, deberían encarar, probablemente dificultades de aprendizaje. El problema era aún más grave en el caso de tres alumnos que habían situado la Física entre las asignaturas que menos les gustaban. A lo largo del curso se procuró seguir más de cerca a los dieciocho alumnos. Se pudo comprobar que cuatro de esos alumnos planeaban abandonar los estudios, otros cuatro querían estudiar Ciencias Empresariales y tres se inclinaban a estudiar Ciencias de la Salud. Del resto no se pudo obtener información relevante respecto a sus preferencias. De los 18, sólo uno obtuvo en las evaluaciones buenas calificaciones en Física semejantes a las obtenidas en las otras asignaturas; los demás obtuvieron casi siempre calificaciones más bajas, aunque varios de ellos aprobaron la asignatura en esas evaluaciones. Nueve presentaron problemas serios de aprendizaje desde el primer semestre y quedaron completamente desfasados de la marcha del curso a pesar de haberseles sugerido algunos remedios para que los recuperaran. El seguimiento que se hizo de estos alu-

la constatación del poco éxito que tuvieron los esfuerzos de alguno de ellos -en algunos casos esfuerzos notables, al parecer- sugieren que, como se pensaba, puede dar problemas el que no guste la asignatura. Cabe, entonces, preguntarse si el programa de Física, tal como está establecido, es el más adecuado para quienes sienten cierta aversión por la asignatura, o la consideran poco relevante para su futuro. Cabe también preguntarse, entre otras cosas, si la Física ha de tener el estatuto de asignatura obligatoria para todos los alumnos que cursen el Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza.

3.2.3. Hábitos de trabajo de los alumnos

Antes de comenzar las tareas ordinarias del curso se intentó explorar los hábitos de trabajo de los alumnos por la incidencia que aquéllos podrían tener en el aprendizaje de éstos. Se destinó, pues, a ese efecto parte de la encuesta inicial. Se continuó prestando atención a lo largo del curso a dichos hábitos de trabajo. La encuesta contenía varias preguntas que pueden agruparse en torno a cuatro apartados: utilización del material escrito, constancia de ritmo en el trabajo, realización del trabajo aisladamente o en equipo y forma de desenvolverse en el laboratorio.

3.2.3.1. Utilización del material escrito

Aunque el autor no conoce ninguna investigación que estudie cuantitativamente el grado en que los alumnos del último curso de EE MM. en España dependen del libro de texto y de los apuntes, la mayoría de las situaciones que ha podido conocer se acomodan a éste esquema: cuando el profesor sigue un libro de texto, y lo sigue muy de cerca en sus explicaciones, los alumnos dependen casi en exclusiva de dicho libro para obtener información; cuando no se ha fijado ningún libro de texto, los alumnos dependen bastante de los apuntes, sobre todo si el profesor utiliza con frecuencia la clase magistral.

Los grupos estudiados, al llegar al nivel que aquí interesa, habían pasado por una situación peculiar: durante sus dos primeros años en las enseñanzas medias no habían tenido libros de texto, ya que la modalidad que seguían, ciencia integrada, era bastante diferente del tratamiento por disciplinas separadas, tal como existe en el plan ordinario, al que se acomodaban los libros de texto que circulaban en el mercado. Además de eso, los alumnos habían experimentado un tipo de enseñanza en el que la clase magistral era muy rara. Por otra parte, como se ha indicado, los alumnos se habían ejercitado en la elaboración de informes que, según las directrices pedagógicas del centro, no podían consistir en copiar de una sola fuente; los alumnos se veían impelidos a consultar varias fuentes, tales como libros de texto del plan vigente, enciclopedias y obras de divulgación. Los alumnos debían contrastar, además,

las distintas fuentes y sabían que la calidad de las referencias bibliográficas era motivo para elevar la calificación de sus informes. Esos mismos alumnos, al llegar al segundo ciclo, habían tenido una experiencia algo distinta. Aunque había diferencias entre los programas experimentales y los tradicionales en este nivel, existían también amplias zonas de coincidencia; consecuentemente, los libros de texto que circulaban en el mercado cubrían amplias zonas del programa experimental. Además, aunque oficialmente se insistía en el trabajo de laboratorio, la amplitud, estructura y contenido de los temarios no permitía una dosis de trabajo experimental tan elevada como en el primer ciclo; por ello los profesores se veían obligados a utilizar, con cierta frecuencia, los métodos transmisivos. ¿Qué hábitos habían desarrollado los alumnos después de pasar por los dos años del primer ciclo y por un año del segundo?

(i) El 47.6% de los alumnos afirmaron, al contestar la encuesta, que seguían un libro de texto y el 42.9% dijeron que era ordinario en su forma de trabajar el consultar varios libros de referencia. El número de alumnos que afirmaron leer libros o revistas de divulgación sobre Física no fue muy alto: 18.3%. Se trataba de 22 alumnos, uno de los cuales repetía, y se contó tanto en el curso 87/88 como en el siguiente. De estos alumnos, 14 situaron la Física entre las asignaturas que más les gustaban, 5 la situaron en un lugar intermedio, 1 entre las que menos le gustaban y 2 se abstuvieron de manifestarse al respecto. La fracción de

alumnos del mencionado grupo, para quienes la Física está entre las asignaturas que más gustan, 63.6%, contrasta con la fracción de la población total que tiene la misma característica, 34.1%; sin embargo, el perfil de calificaciones obtenidas por este grupo es semejante al obtenido por la población global.

Se prestó también atención a los alumnos que decían limitarse a los apuntes. Hubo 13 respuestas en este sentido, 10.3% del total, correspondientes a 12 alumnos, uno de los cuales, como repetidor, respondió en dos ocasiones. De estos 12 alumnos, 8 no llegaron a superar el curso a cuyos comienzos se había pasado la encuesta y tuvieron que repetir; dos situaron la Física entre las asignaturas que menos les gustaban y todos, con muy pocas excepciones, obtuvieron calificaciones bajas en las evaluaciones parciales.

(ii) Una somera reflexión sobre los datos apunta a distintos temas de investigación que vale la pena mencionar, aunque no se hayan explorado más en este trabajo. Uno de ellos es el tipo de relación existente entre la lectura habitual de material científico divulgador y la afición por la asignatura. ¿Hay, realmente, una correlación positiva? En segundo lugar, puede plantearse otra pregunta: ¿Es la lectura del material divulgador, por lo general más ameno que los libros de texto, la que induce el gusto por la asignatura o, por el contrario, es el hecho de que guste la

asignatura lo que lleva a leer ese material? En tercer lugar, cabe también preguntarse si el rendimiento relativamente bajo de quienes se limitan sólo a los apuntes, sin utilizar libros de texto u otros materiales, está condicionado, y en qué modo, por esa restricción tan notable en el material de lectura. Independientemente de esto, el hecho de que el 42.9% de los alumnos dijeran que consultaban varios libros de referencia como forma ordinaria de trabajar revela, si las manifestaciones son objetivas, que los alumnos tienen unas costumbres poco frecuentes, al parecer, en la población estudiantil de su nivel. ¿Puede haber sido inducido este hábito de trabajo por los métodos didácticos empleados durante el primer ciclo?

3.2.3.2. Constancia de ritmo en el trabajo

Pocos profesores, si es que hay alguno, pondrían en duda la afirmación de que algunos alumnos trabajan a diario, mientras que otros lo dejan todo para la víspera de los exámenes. Más complejo es ya el establecer si los alumnos que trabajan a diario llevan un ritmo constante en todas las asignaturas, puesto que se dan casos de alumnos que trabajan a diario, pero sólo en la asignatura cuyo examen está más próximo. Al hablar de "constancia de ritmo" se quiere significar que el alumno lleva la asignatura al día; por el contrario, se considera que el ritmo es irregular cuando el alumno permanece habitualmente durante más de una semana

descolgado de la marcha de la clase, aunque después trabaje con intensidad para alcanzar a sus compañeros. El límite de tiempo que se ha tenido en cuenta -una semana- es, sin duda, arbitrario, pero al menos introduce cierta precisión.

Cabe pensar que los alumnos de ritmo inconstante experimentarán mayores dificultades de aprendizaje y tendrán mayores problemas para aprender significativamente el material que se les ofrece, ya que carecen del contexto cognitivo inmediato con el que conectar dicho material. Esto es especialmente agudo en el caso de la Física, por el alto grado de conexión lógica que suelen tener, entre sí, las distintas partes de cada tema. De aquí el interés por conocer la constancia de ritmo de los alumnos. Como en casos anteriores, el tema se incluyó en la encuesta inicial y se hizo su seguimiento a lo largo del curso.

(1) En la encuesta, la mitad de los alumnos que respondieron a esta cuestión (el número de respondientes fue bajo) declaró llevar la asignatura al día. Sin embargo, el contraste de estas respuestas con lo que se pudo observar a lo largo del curso, pone de relieve diferencias notables entre lo que dijeron los alumnos y lo que después se pudo observar. El criterio que se siguió en las observaciones, para clasificar a los alumnos en este aspecto, fue el siguiente: se consideró que un alumno era de ritmo constante si, al ser observado, daba muestras claras, en la mayoría de las ocasiones, de haber trabajado de algún modo lo que se

había visto en clase durante los cinco días lectivos anteriores. Normalmente, durante cada período de clase se establecía contacto con dos o tres alumnos, elegidos por procedimientos aleatorios, para comprobar su constancia de ritmo. Esto podría suponer entre 15 y 20 alumnos por semana y grupo.

(ii) Fueron 33 los alumnos que afirmaron en la encuesta inicial llevar la asignatura al día; pero en 18 casos las observaciones subsiguientes no fueron concordantes con las respuestas. De los 18 alumnos mencionados, 12 mantuvieron un ritmo irregular, con dedicación intensa a la asignatura durante el tiempo próximo a los exámenes, pero con descuido grande de la misma durante el tiempo ordinario; 3 abandonaron la asignatura durante los primeros meses del curso e incluso faltaron a clase con relativa frecuencia; otros 3 presentaron unos síntomas en los que se hacía difícil distinguir si trabajaban a diario, aunque con resultados pobrísimos, o si, sencillamente, se abandonaban bastante. En contrapartida, 8 alumnos que no habían afirmado en la encuesta ser de ritmo constante, lo fueron, de hecho, a lo largo del curso, aunque uno de ellos con poco provecho porque no llegaba a asimilar bien.

(iii) Los 53 alumnos, 42.1% del total, cuyo ritmo constante pudo ser comprobado, presentaron características especiales, tales como un mayor número de intervenciones a lo largo de las clases. Si se exceptúan 4 de ellos, estos

alumnos parecían encontrarse cómodos en la asignatura y sus calificaciones fueron en general buenas. No se ha cuantificado el aspecto de las calificaciones porque, además de las imprecisiones propias de este dato, como advierten Fernández Pérez (1986, pp. 23-25) y Abernot (1988, pp. 14-16), comentando a Piéron, están influenciadas por criterios de la junta de evaluación que pueden ser extrínsecos a la asignatura.

3.2.3.3. Realización de trabajos aisladamente o en equipo

El interés por buscar información tempranamente acerca de este punto está justificado, no sólo por el carácter comunitario que tiene la actividad científica propiamente dicha, como señala Gil Pérez (1983), sino, sobre todo, por la influencia que tiene en el aprendizaje lo comunitario (Coll, 1986).

(i) 28 de los encuestados a principios de curso dijeron que los trabajos los hacían en equipo y 72 afirmaron que, normalmente, trabajaban mejor en solitario. Adviértase que no hay oposición entre las cuestiones 6.1 y 6.2 de la encuesta, a las que corresponden las referidas respuestas: puede suceder, en efecto, que se realicen en equipo la mayoría de los trabajos, aunque de hecho se trabaje mejor en solitario. Los respondientes, no obstante, optaron por una u

otra de las dos contestaciones, a excepción de 4 que señalaron simultáneamente ambas.

(ii) Merece una reflexión el hecho de que la mayoría de los alumnos considere que trabaja mejor en solitario. El carácter social de la actividad científica puede ser considerado al menos desde estas dos perspectivas: (1) el carácter público de la ciencia, en virtud del cual los nuevos avances o descubrimientos no se consideran consolidados, a menos que haya habido aceptación por parte de la comunidad científica -difusión en medios de comunicación especializados y de solvencia, réplica de experimentos por parte de otros científicos, etc.-; y (2) la superespecialización existente en algunos campos, que impone labor convergente de equipo, si se quiere encontrar solución a problemas que tienen un ámbito más amplio que el campo restringido de una especialización muy específica. Ambos aspectos -carácter público y especialización combinada con labor de equipo- pueden tener sus analogías en el pequeño mundo de la clase: (1) por una parte, los alumnos compararían los resultados de sus trabajos -solución de problemas, conclusiones obtenidas en el trabajo experimental, etc.- con los obtenidos por otros compañeros, discutiéndolos y revisándolos en caso de discrepancia y sin esperar siempre, de forma exclusiva, al veredicto del profesor; (2) por otra parte, los alumnos pueden adoptar una diversificación rudimentaria de tareas en la realización de los trabajos que se les encomienda, aunque se fomente la

rotación de tareas en trabajos sucesivos, a fin de que todos los miembros de un equipo adquieran conocimiento directo de diferentes técnicas experimentales.

Era de esperar que alumnos que habían estado trabajando, durante un ciclo de dos años, con métodos activos y en equipo hubieran desarrollado algo más la tendencia hacia este tipo de trabajo. Más de la mitad no lo hicieron así. Se han buscado explicaciones a este fenómeno y se ha pensado que un factor explicativo pudiera ser la forma de calificar, seguida por el centro, e inducida por prácticas habituales en el sistema educativo. A los alumnos se les hace trabajar en equipo, pero la nota -lo que más se valora en muchos casos- se obtiene básicamente a partir del trabajo individual. Aunque no esté explícitamente estipulado, las calificaciones tienden a discriminar y a clasificar, a separar a los alumnos según las distintas clases de notas. Para cumplir esa función, no es recomendable el basarse mucho en la valoración de trabajos atribuibles a todo un equipo, sino que hay que buscar factores más discriminantes. Uno de ellos puede ser el papel que juega cada alumno en el trabajo conjunto del equipo - algo, ciertamente, muy difícil de valorar en la práctica-; otro puede ser considerar predominantemente el resultado de lo que se ha obtenido de forma puramente individual (por ejemplo, informes redactados por separado o exámenes escritos bajo unas condiciones que intentan impedir cualquier intercomunicación). Al disociar el trabajo

realizado en equipo del realizado individualmente, y al valorar este último como lo más importante, puede estar transmitiéndose a los alumnos el mensaje subyacente de que, lo que importa en realidad, es lo realizado individualmente. Es una hipótesis plausible el que este mensaje, transmitido de forma oculta, aunque consistente, contribuya a inducir las pautas que se detectaron.

3.2.3.4. Conducta en el laboratorio

El trabajo de laboratorio es algo fundamental. Con el propósito de organizar el seguimiento de los alumnos en esta actividad, se buscó desde el principio conocer cómo se veían éstos a sí mismos en lo que respecta al trabajo de laboratorio. Por eso se les preguntó sobre el particular en la encuesta inicial. La formulación de la cuestión -"me organizo bien en el laboratorio"- no parece muy adecuada, ciertamente, para obtener información precisa. Piénsese, sin embargo, que, en el lenguaje de los alumnos, "organizarse bien un trabajo" significa, aproximadamente, realizarlo sin agobios, con cierto dominio de lo que se está haciendo y con buenos resultados. De lo que se trataba era, precisamente, de ver si los alumnos creían que su actividad en el laboratorio se ajustaba a este esquema.

(i) Solamente 49 alumnos dijeron organizarse bien en el trabajo de laboratorio. La frecuencia de respuestas varía

bastante, sin embargo, según los grupos. El grupo B88 da el máximo, con 48.6%, y el grupo A88 el mínimo, con 21.9%. En las observaciones subsiguientes se comparó esta autoimagen de los alumnos con lo que se considera como pauta satisfactoria de comportamiento en el laboratorio. Pudo comprobarse que 7 alumnos, que habían afirmado organizarse bien, no llegaron a efectuar las prácticas de modo satisfactorio; en contrapartida, otros 7 alumnos que no se consideraban a sí mismos como bien organizados, desarrollaron, por lo general, sus prácticas de una forma bastante buena.

3.2.4. ~~Cómo ven los alumnos algunas dificultades experimentadas por ellos~~

En términos generales, y según la impresión de varios docentes en el nivel de EE. MM., la Física presenta dificultades para los alumnos, a veces por la abstracción de los conceptos, a veces porque no captan la conexión entre las teorías físicas y los problemas de su vida real y, en bastantes casos, porque no se domina el instrumental matemático del que suele servirse la Física en este nivel. Interesaba ver también la otra cara de la moneda: las impresiones que tenían los alumnos sobre sus propias dificultades. Se trató de comprobar, por tanto, el grado y, en cierta forma, el tipo de dificultad que habían sentido los alumnos en sus contactos previos con la asignatura. El

aspecto se exploró a través de varias cuestiones de la encuesta inicial. En tres de ellas se preguntó directamente por el grado de dificultad experimentado; en otras tres se intentó una clasificación somera de las dificultades, distinguiendo entre comprensión de conceptos y resolución de problemas. Se estableció esta última distinción porque se había comprobado con bastante frecuencia, en la experiencia docente, que hay alumnos que parecen comprender bien la teoría -demostraciones, definiciones, etc.-, que responden bien en los exámenes a las preguntas teóricas, y que, por el contrario, no consiguen aplicar, con fluidez, esa teoría a casos concretos, ni obtener buenos resultados en los ejercicios prácticos de los exámenes. Este fenómeno, al parecer, no es exclusivo de España. Desde Holanda, escriben Kramers-Pal et al. (1988): "Las notas que obtienen los alumnos, en tests y exámenes, en problemas cuantitativos son con frecuencia frustrantes" (l.c. pg. 511).

(i) En lo que respecta a la dificultad (sin especificaciones) de la asignatura, el 61.9% de la población considera la Física como una asignatura difícil; este porcentaje sube al 71.4% en el caso del grupo B88. Sólo dos alumnos dicen que la encuentran fácil. Por lo que respecta al tipo de dificultad, teoría frente a problemas, hay 107 respuestas, 84.9% de la población, cuyos resultados están recogidos en la Tabla VI.

(ii) La primera serie de respuestas pone de manifiesto un hecho que no puede ignorarse al elaborar los planes de enseñanza: casi dos tercios de la población ven la Física como una asignatura difícil y eso a pesar de tratarse de sujetos que han optado por un bachiller de ciencias. No es descabellado pensar que el porcentaje aumentaría si se considerara a toda la población escolar de este nivel. Las respuestas no especifican, por supuesto, si la dificultad procede de la misma naturaleza de la asignatura, de experiencias penosas de aprendizaje habidas en la vida anterior de los alumnos, o de la carencia de soportes adecuados para que se establezca el aprendizaje significativo. Sin embargo, el hecho de la dificultad experimentada resulta patente y justifica los intentos de investigar sus condicionantes.

TABLA VI.- Facilidad sentida por los alumnos al comparar aprendizaje de conceptos y resolución de problemas.

	A87	B87	A88	B88	Total
Más fácil aprender conceptos	44.4	43.5	37.5	72.7	51.4
Más fácil resolver problemas	3.7	21.7	16.7	12.1	13.1
Ambos igual de fáciles/difíciles	51.9	34.8	45.8	15.2	35.5

Las cifras representan porcentajes referidos al total de respondientes de cada categoría.

(iii) Es interesante constatar la diferencia de apreciación de dificultad cuando se trata de asimilación de conceptos o de resolución de problemas -51.4% frente a 13.1%- . El resultado sugiere que la resolución de los problemas requiere algo más complejo que la asimilación de una información y el recuerdo de la misma, incluso cuando ambos están acompañados por una comprensión aceptable del significado de los símbolos con que está codificada la información. En todo caso, las respuestas dejaron algo bien claro: en las observaciones ulteriores sobre dificultades de aprendizaje, habría que tener en cuenta dos aspectos: asimilación de información y aplicación de la misma. Esto es lo que se intentó hacer.

3.3. COMPETENCIA TERMINOLOGICA DE LOS ALUMNOS

Holton et al. (1984), al resumir el contenido de la ciencia, hablan de conceptos, relaciones entre conceptos y gramática. "En primer lugar están los conceptos o estructuras, como la velocidad, la masa, el elemento químico, etc. ... Pueden definirse operacionalmente las reglas de correspondencia entre los conceptos por una parte, y lo que puede observarse (preferiblemente medido) por la otra. ... En segundo lugar están las relaciones entre los conceptos. Estas relaciones pueden ser simples observaciones de los hechos ... También pueden ser resúmenes generales de hechos, llamadas leyes, principios, etc. ... O también pueden ser sistemas superiores que relacionan leyes entre sí. ... En tercer lugar existe una parte de la ciencia que damos por supuesta, como es la gramática, que proporciona el medio de expresar las definiciones y relaciones entre los conceptos; incluye tanto la lógica del lenguaje (reglas para utilizar con propiedad, por ej., las letras γ , ρ) como la lógica de las matemáticas (para saber utilizar los signos + o -, sumar vectores, etc.). Estas tres partes están tan íntimamente relacionadas, que una de ellas, separada del resto, carece de significado" (l.c., pg. 321-322).

El lenguaje de la Física, "la gramática" de la que hablan Holton et al., es, por sí mismo, objeto de aprendizaje para todo aquel que desee iniciarse en la

disciplina. Bajo este punto de vista, es semejante a los otros dos grandes grupos de componentes: conceptos y relaciones entre conceptos. Pero el lenguaje no es sólo objeto de aprendizaje; es también instrumento privilegiado de aprendizaje. Maskill (1988) desarrolla esta idea con claridad: "Los conceptos más importantes de la ciencia, especialmente los que resultan más difíciles a los chicos, son abstractos ... Dada esta naturaleza abstracta, el único camino para acercarse a las ideas es el lenguaje -para ser aprendidas, las ideas deben ser descritas, quizás imaginadas de forma pictórica, y utilizadas después en situaciones reales bajo la guía del lenguaje instruccional. Hay que imaginarse correctamente las ideas abstractas para que adquieran significado. El lenguaje de la clase es lo que guía la imaginación" (l.c., pg. 486). Conviene tomar nota de esto aunque no se trate sólo de un problema de imaginación.

Además de aprender la Física a través del lenguaje, el alumno manifiesta sus conocimientos por medio del mismo. En el lenguaje de la Física están escritos los libros de texto, en él se expresa, generalmente, el profesor; por medio de él se produce la mayoría de los intercambios entre profesor y alumno. Cabe pensar que es muy pequeña la parte de información, relevante desde el punto de vista de la Física, que llega a integrarse en la estructura cognitiva del alumno, sin haber sido sometida antes a la acción mediatizadora del lenguaje de la disciplina. Estos son los

motivos por los que se dedicó una atención especial al lenguaje en el presente estudio.

La parte principal de la sección que ahora comienza va seguida de un apéndice en el que se abordan los problemas experimentados en la utilización de las Matemáticas.

3.3.0. Terminología: algunas precisiones

Como observan Kittel et al. (1984), "la terminología es un ingrediente esencial del pensamiento abstracto. Es difícil pensar fácil y claramente sobre conceptos abstractos y complejos en un lenguaje que no posee las palabras adecuadas para tales conceptos" (l.c., pg. 30). La Física, por supuesto, tiene una terminología abundante y precisa; quizás sea ello, al mismo tiempo, causa e indicio de lo avanzado de su estado como ciencia.

El alumno que termina las EE. MM. necesita conocer el significado de bastantes términos, si desea satisfacer los requerimientos del temario exigido. El Anexo II recoge un inventario de esos términos, una lista, por cierto, bastante larga de la que se hablará después. De todos modos, antes de entrar en la presentación y estudio de los datos, conviene precisar el significado de algunas palabras tales como "términos", "competencia terminológica", "items", "conceptos", que se van a utilizar con frecuencia.

(i) Como advierte Fowler (1974, pg.46), la moderna teoría referencial toma como punto de partida el famoso triángulo de Ogden y Richards, en cuyos tres vértices están situados respectivamente los símbolos, los conceptos y los referentes. Reduciéndonos ya al caso concreto de la Física, consideremos tres conjuntos: uno, compuesto por elementos que son símbolos lingüísticos, entendidos éstos en un sentido amplio -palabras, frases, conjuntos de éstas, combinación de éstas con otros signos, etc.-; otro conjunto compuesto por elementos que son conceptos; el tercer conjunto, compuesto por elementos que son los referentes, es decir, las cosas que son o pueden ser objeto de estudio de la Física. El hecho de que exista conocimiento de la Física y de que los físicos se entiendan entre sí, implica que existe una doble correspondencia, miembro a miembro, entre los elementos de los diferentes conjuntos, de suerte que, dado un referente determinado, exista un sólo concepto -entendido éste también en sentido amplio- en correspondencia con él y un único símbolo -con posible variedad de formas externas equivalentes-, por el que se expresa dicho concepto. Más concretamente, un concepto determinado de un físico competente está en correspondencia con un símbolo lingüístico determinado y con algo que está situado en el mundo fenoménico. La utilización, en forma equivalente, de las correspondencias biunívocas entre los elementos de los tres conjuntos, por parte de la comunidad disciplinal de los físicos, es lo que hace que sea la Física una disciplina,

una actividad pública con su cuerpo de conocimientos, reglas de procedimiento, etc., llevada a cabo por un colectivo de expertos. Cuando un físico utiliza un término determinado, como, por ejemplo, "grado Kelvin", en su mente existe un concepto que corresponde a ese término -el concepto de grado Kelvin- y ese concepto tiene un referente bien definido -un intervalo determinado en una escala de temperatura-. Dos físicos competentes se entienden perfectamente cuando hablan entre sí, porque tienen conceptos equivalentes en correspondencia con los símbolos que usan en común y porque esos conceptos se refieren al mismo fenómeno.

(ii) En el apartado anterior se ha puesto de relieve el carácter de referencia que tienen los símbolos que emplea la Física. Conviene ahora fijarse en otro aspecto del lenguaje de la Física: concretamente, en su carácter sistémico. Cualquier elemento de dicho lenguaje está relacionado con los otros elementos -o, al menos, con algunos de ellos- y la comprensión de cualquier término condiciona la comprensión de los otros términos que están relacionados con él. Por eso no parece muy acertado pensar que el aprendizaje de los términos de la Física se efectúe por medio de acumulaciones sucesivas. Más bien hay que pensar en una serie de procesos que perfilan y fijan el sistema terminológico del alumno. Cuando éste adquiere un nuevo término, lo relaciona con los que ya posee y, al mismo tiempo que le atribuye significado, reajusta su sistema terminológico global.

Fowler (1974) expresa bien claramente la naturaleza sistémica de las palabras en el lenguaje ordinario. Después de citar y comentar a F. de Saussure, añade: "Lo cierto es que el significado de las palabras no está dado por sus vinculaciones referenciales con unos objetos determinados, sino por la relación que ellas tienen entre sí: su copertenencia a un conjunto léxico cuyos miembros se definen recíprocamente unos a otros" (l.c., pg. 52). Las afirmaciones anteriores serían quizás más ajustadas si se añadiera sólo una palabra: "únicamente". Con esto se quiere decir que el significado no está dado únicamente por las vinculaciones referenciales sino sobre todo por la relación entre las palabras. En el lenguaje de la Física el carácter sistémico es bien patente. Por citar un ejemplo: no se posee bien el significado de la palabra "ohmio" sin conocer el de la palabra "resistencia", que, a su vez, está relacionado con el de las frases "diferencia de potencial" e "intensidad de la corriente" y así sucesivamente. Este estado de cosas tiene la ventaja de que las nuevas adquisiciones terminológicas, como se ha indicado, afinan el sistema léxico que posee el alumno. En contrapartida, existe un inconveniente: el desconocimiento de un término clave impide captar el significado de cualesquiera otros términos en cuya definición intervenga aquél.

(iii) Se ha utilizado varias veces la palabra "concepto" y conviene precisar más qué se entiende bajo esa denominación, sobre todo porque estamos en una situación en

que el interés fundamental radica en la didáctica. Advierte Novak (1977, pg. 454) que en el campo de la educación se discute con bastante frecuencia sobre los conceptos, pero rara vez se les define. El mismo Novak (ib.) trata de dar una definición de "concepto" basándose en las ideas de regularidad, registros y acontecimientos. "Los conceptos, dice, son invenciones del hombre utilizadas para describir las regularidades que se han observado en los sucesos". En este trabajo se va a utilizar la definición de Hulse et al. (1975) que incluye a la de Novak como un caso particular. Para Hulse et al., "el concepto es un conjunto de rasgos conectados por una regla" (l.c., pg. 256). Entienden a su vez el rasgo como "cualquier aspecto de un objeto o de un acontecimiento que puede ser abstraído de ese objeto o acontecimiento" (l.c., pg. 257). La regla, de la que hablan en su definición, es una "instrucción para hacer algo" (l.c., pg. 258). Ilustrando lo anterior con el ejemplo antes mencionado del grado Kelvin, puede verse que, en este concepto, hay aspectos -como el de diferencia de temperaturas- y reglas -las operaciones de construcción de una escala, entre otras-.

(iv) El alumno que intenta aprender Física, tiene que ir desarrollando poco a poco su propia estructura mental relacionada con la disciplina: tiene que construir un conjunto de conceptos -los suyos-, tiene que familiarizarse con el conjunto de los símbolos utilizados en la disciplina, tiene que establecer unas relaciones que conectan a esos

conjuntos entre sí y, a ambos, con el conjunto de los referentes. Por ejemplo, un alumno puede manifestar deficiencias porque no asocia un concepto determinado con el símbolo que la comunidad científica utiliza para codificar ese concepto -error lingüístico- o porque, aun dándose buena codificación, el concepto del alumno no es equivalente al que tendría un físico competente -error conceptual- o porque un concepto, bien formado, se aplica a un referente determinado de manera distinta a como lo haría un físico competente -error de identificación de la situación o de aplicación del concepto-. Esta diversidad en las posibles modalidades de error, exige una labor de discernimiento siempre que un alumno tiene problemas. Para diagnosticar y aplicar la intervención didáctica adecuada, hay que saber si se trata de un problema de codificación, de conceptuación, de identificación o de aplicación. En el presente trabajo el discernimiento se ha llevado a cabo fundamentalmente a través de conversaciones con los alumnos, aunque, en algunas ocasiones, se ha observado también cómo utilizaban éstos sus nociones en la resolución de problemas de clase sin interferir en la actividad que llevaban a cabo.

(v) Tanto en el epígrafe como en muchos otros lugares del trabajo se habla de "competencia terminológica". Con estas palabras se designa la conceptuación y la codificación: un alumno tiene este tipo de competencia cuando sus conceptos están bien formados y los expresa adecuadamente. Bajo la denominación de "término" se designa

la palabra o conjunto de palabras con que se codifica un concepto determinado. A veces, siguiendo una costumbre cada vez más extendida en el lenguaje sobre las pruebas, se utiliza la palabra "item" para designar un término o concepto que figura en la prueba.

En el trabajo de campo se prestó atención a los problemas terminológicos desde el principio. Sin embargo, fue a lo largo del segundo año de trabajo cuando se hizo un especial hincapié. El análisis de los resultados obtenidos durante el primer año puso de manifiesto la existencia de un grave problema al que se dedicó una atención especial. Dadas las diferencias entre los dos cursos académicos se trata por separado lo relativo a cada uno de ellos.

3.3.1. Problemas de terminología en los grupos A87 y B87

A lo largo del curso 87/88 se observó el nivel de los alumnos en lo que respecta a su competencia terminológica. De acuerdo con una pauta que solía seguirse en clase, cuando aparecía un término con el que los alumnos no estaban probablemente muy familiarizados, se pedía a alguno de los alumnos -generalmente había más de un voluntario- que diera la definición. Esta pauta, como se vio después, no es la más adecuada para que el profesor adquiriera una visión de conjunto de la competencia terminológica de los alumnos. En primer lugar, porque los alumnos que más se prestan a intervenir no son, con frecuencia, los más representativos de la situación general; en segundo lugar, porque la presunción de que un término sea o no familiar a los alumnos, es apriorística, si no se ha comprobado empíricamente el nivel de conocimiento de los mismos.

La reflexión que acaba de hacerse no estaba tan explicitada a comienzos del curso 87/88, y por eso se dio más crédito del debido a las constataciones eventuales basadas en las respuestas de los alumnos voluntarios. A pesar de ello, hubo también algunas observaciones más sistemáticas. En algunos exámenes se pidió a los alumnos, como parte del examen, que definieran algunos términos. Fueron en total 25 las definiciones pedidas, pero los términos a definir eran sólo 21, ya que 4 de ellos aparecieron en más de un examen. Las ocasiones escogidas

para este tipo de preguntas fueron las siguientes: en el examen de la primera evaluación se pidió la definición de 5 términos; en el examen de la 4ª evaluación, casi al final de curso, se pidió la definición de 10 términos, dos de los cuales habían sido incluidos en la primera evaluación; en el examen correspondiente a la prueba de suficiencia se pidió la definición de otros 10 términos, uno de los cuales había sido incluido en la 1ª evaluación y otro en la 4ª. Los términos a definir se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Términos, expresiones o conceptos, cuya definición se pidió a los alumnos de los grupos A87 y B87.

(Los números o letras entre paréntesis a continuación del término indican la ocasión en que éste aparece, conforme al siguiente código: 1 = examen de la 1ª evaluación; 4 = examen de la 4ª evaluación; s = prueba de suficiencia)

1. Módulo de Young (1,4)
2. Frecuencia (1)
3. Deformación unitaria por cizalladura (1,s)
4. Amplitud de una oscilación (1,4)
5. Fatiga cortante (1)
6. Constante de fuerza de un muelle (4)
7. Fuerza electromotriz (4)
8. Diferencia de potencial (4)
9. Capacidad de un condensador (4)
10. Campo gravitatorio (4)

11. Onda longitudinal (4,s)
12. Frente de onda (4)
13. Límite de elasticidad (4)
14. Frecuencia angular (s)
15. Intensidad del campo eléctrico (s)
16. Longitud de onda (s)
17. Potencial eléctrico (s)
18. Conductor óhmico (s)
19. Fuerza contraelectromotriz (s)
20. Refracción de una onda (s)
21. Efecto Joule (s)

El estudio de las respuestas tuvo dos fases: clasificación y discusión.

3.3.1.1. Clasificación de las respuestas

El análisis de las respuestas permitió agruparlas en cuatro clases diferentes, la primera de las cuales puede subdividirse en tres subclases:

- 1ª clase: respuestas correctas, con tres modalidades,
 - 1ª a: definición verbal,
 - 1ª b: definición por medio de expresión matemática,
 - 1ª c: definición por medios gráficos;

2ª clase: respuestas incompletas. En ellas se mencionan algunos rasgos que pertenecen a la definición del término, pero no todos.

3ª clase: particularizaciones. Se define un término general por un caso particular al que puede aplicarse ese término. Por ejemplo, se da como definición de potencial gravitatorio la siguiente: $V = \{-GM/x\}$, algo que se cumple en casos particulares, como el de la masa puntual, pero no en todos los casos.

4ª clase: respuestas erróneas. Se atribuyen al término rasgos que no le pertenecen.

A las clases anteriores podría añadirse una quinta clase: la que recoge los casos en los que no se da la definición.

La Tabla VII recoge los resultados con detalle. Los alumnos que entregan sus escritos en el examen de la primera evaluación son 59 (29 del grupo A87 y 30 del B87); quienes los entregan en el examen de la cuarta evaluación son 53 (28 del grupo A87 y 25 del B87); quienes los entregan en la prueba de suficiencia son 30 (13 del A87 y 17 del B87).

Tabla VII.- Clasificación de las definiciones dadas por los alumnos del curso 87/88 a los términos del cuadro 1

Térm.	1 ^a a	1 ^a b	1 ^a c	2 ^a	3 ^a	4 ^a	N.C.
1(1)	20	1	0	35	0	3	0
1(4)	28	2	0	14	0	5	4
2(1)	6	0	0	44	3	5	1
3(1)	2	0	2	6	0	47	2
3(s)	1	0	6	1	0	21	1
4(1)	13	0	0	8	12	26	0
4(4)	16	0	0	2	13	16	6
5(1)	30	3	0	4	0	20	2
6(4)	32	7	0	0	0	8	6
7(4)	13	0	0	9	0	27	4
8(4)	44	0	0	1	0	6	2
9(4)	11	18	0	5	0	12	7
10(4)	3	1	0	18	10	12	9
11(4)	20	0	0	1	0	26	6
11(s)	11	0	0	2	0	16	1
12(4)	25	0	2	0	0	16	10
13(4)	21	0	0	0	1	25	6

14(s)	3	18	0	0	0	8	1
15(s)	1	1	0	1	7	15	5
16(s)	5	4	11	1	0	9	0
17(s)	11	1	0	13	1	3	0
18(s)	5	3	0	4	0	15	3
19(s)	7	0	0	7	0	14	0
20(s)	21	0	0	2	0	6	1
21(s)	11	0	0	2	0	16	1

Los números de la primera fila corresponden a las clases mencionadas en el texto; N.C. = no contesta; los números de la primera columna se corresponden a los ítems del cuadro 1, teniendo los números o letras entre paréntesis el significado señalado allí. El resto de números de la Tabla indica la cantidad de respuestas al correspondiente ítem y en la correspondiente categoría.

3.3.1.2. Discusión de las respuestas

Al comparar los resultados obtenidos conviene tener en cuenta tres cosas: (1) el número de ítems por los que se pregunta en los distintos exámenes no es siempre el mismo (como se dijo antes, éste es 5, 10 y 10); (2) el número de respondientes es diferente de una prueba a otra (59, 53 y

30, respectivamente, en las tres pruebas); (3) en la tercera prueba intervienen solamente los alumnos que tienen que hacer el examen de suficiencia y es lógico pensar que su nivel medio de competencia sea inferior al de la población total. Para facilitar las comparaciones se utilizarán generalmente porcentajes en lo que sigue.

3.3.1.2.1. Nivel de actuación de los alumnos

En la figura 1 se ha representado el porcentaje de respuestas correctas, en abscisas, frente al número de alumnos que obtienen ese porcentaje, en ordenadas. A cada alumno se ha dado una puntuación:

$$p = (Rc/Rt) \times 100$$

donde Rc es el número de respuestas correctas y Rt el número de respuestas pedidas en los exámenes en que interviene el alumno.

Dos alumnos abandonaron -uno los estudios y otro la asignatura- después de la primera evaluación; por eso no se han contabilizado los resultados que obtuvieron en la única evaluación en que intervinieron. El valor de Rt varía según los casos, pues hay alumnos que no tuvieron que hacer la prueba de suficiencia y hay también alumnos que escribieron dicha prueba pero no se presentaron al examen de la cuarta evaluación. En concreto, el valor de Rt es 25 en el caso de

26 alumnos -13 de cada grupo-; a éstos se les pidieron, en total, 25 respuestas. El valor de R_t es 15 para los 31 alumnos restantes -15 del A87 y 16 del B87- a quienes sólo se les pidieron 15 respuestas.

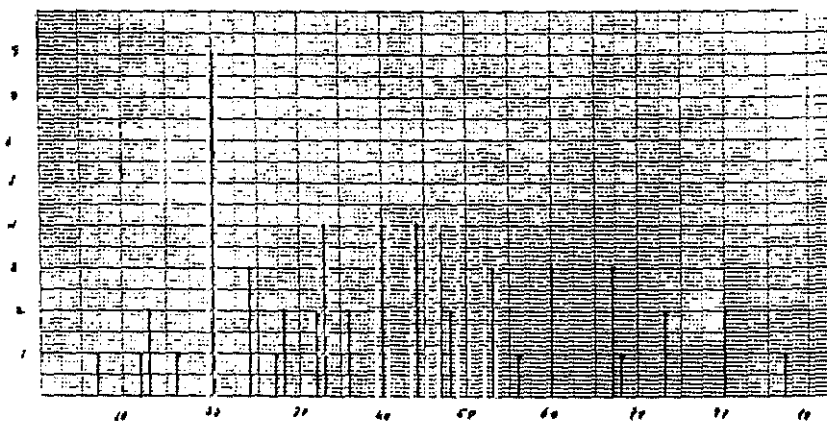


Fig.1. Frecuencia de puntuaciones obtenidas por los alumnos del curso 87/88.

(i) El primer hecho que debe tenerse en cuenta es que, en una población de 57 alumnos, ninguno demuestra dominio completo del vocabulario específico que se supone debería conocer. Solamente 3 alumnos definieron correctamente más del 75% de los términos cuya definición se pedía y no más de 16 alumnos (28.1%) definieron bien más de la mitad de los términos requeridos. La puntuación media obtenida es $\bar{p} = 40.5$, con una desviación típica $s = 19.5$. Hay diferencias entre los grupos AB7 y BB7, siendo las medias respectivas 44.6 y 37.0, con desviaciones típicas de 19.2 y 19.0 respectivamente. La diferencia de medias entre los dos grupos es $\delta = 7.6$ y $\delta/s = 0.39$.

Para ponderar mejor la importancia de estos datos hay que considerar las circunstancias en que se obtuvieron. Los alumnos sabían de antemano que uno de los objetivos de la asignatura era adquirir familiarización con el vocabulario específico de la Física; además, antes de comenzar una nueva unidad didáctica se les proporcionaba una lista con las palabras clave que iban a encontrar en ella. En cualquier momento podían consultar su elenco de términos; de esa forma no estaban desprevenidos cuando aparecía un nuevo término en el estudio de la asignatura. En bastantes ocasiones se estimuló a los alumnos para que compararan las distintas definiciones de términos que aparecían en diferentes libros de texto.

(ii) Una situación como la descrita apunta inmediatamente a problemas serios de aprendizaje: si un alumno no domina el significado de un término, difícilmente puede descodificar con éxito las expresiones en las que interviene dicho término; asimismo, difícilmente podrá establecer con corrección las relaciones entre términos cuando uno de ellos, por lo menos, es desconocido.

(iii) Sin embargo, antes de llegar a cualquier conclusión, por muy provisional que sea, es preciso profundizar algo más en el examen de los datos y responder a esta pregunta: ¿puede afirmarse que un alumno desconoce el significado de un término, por el mero hecho de constatar que lo define mal en un examen? La pregunta tiene sentido, porque pudiera suceder que el problema radicara en la expresión y no en la comprensión. Sería, en efecto, el caso de alumnos que comprendieran bien los términos técnicos, tuvieran claros los conceptos, pero fueran incapaces de definirlos adecuadamente en una situación de examen. Se imponía, pues, ampliar la observación para comprobar si, y en qué medida, el problema era de comprensión o de expresión. Estas observaciones más amplias y cuidadosas se llevaron a cabo durante el segundo año del trabajo de campo. A lo largo de la etapa que se está comentando en este momento, durante el primer año, no se hicieron porque los datos de que entonces se disponía procedían, en su mayoría, de la cuarta evaluación y de la prueba de suficiencia; tanto una como otra realizadas cuando el curso estaba acabando.

Los alumnos se manifestaban entonces cansados, faltos de tiempo y preocupados por la selectividad. Las circunstancias no eran las más adecuadas para mantener entrevistas personales con los alumnos.

(iv) En esa situación, al planificar la enseñanza para el curso siguiente, había que hacer frente a un problema didáctico: si los alumnos carecían realmente del dominio adecuado de la terminología, y no se trataba sólo de problemas de expresión, ¿a qué podría atribuirse su falta de conocimientos? Se formularon varias hipótesis explicativas: a) el hecho de que no se siguiera en clase ningún libro de texto determinado -donde las definiciones suelen aparecer escritas con precisión y de manera consistente- se prestaba a que los alumnos se apoyaran demasiado en sus apuntes de clase, con el riesgo de que hubieran transcrito algunas definiciones de forma defectuosa y no las hubieran corregido con posterioridad. b) La información proporcionada a los alumnos sobre los errores cometidos, pudiera ser inferior a lo requerido; al no haber insistido en ello el profesor, los alumnos no los habrían subsanado. c) El significado de algunos términos podría haber caído en el olvido al no ser utilizados éstos con la debida frecuencia.

Lo correcto desde el punto de vista experimental, dada la diversidad de factores explicativos, hubiera sido investigar separadamente cada uno de ellos, preocupándose, por ejemplo, por lo que respecta al libro de texto durante

el curso 88/89, pero sin cambiar, durante ese intervalo de tiempo, las pautas relacionadas con la información correctora o el olvido. El problema es que, lo que parecía más correcto desde el punto de vista experimental, presentaba cierta incompatibilidad con lo ético, pues no parecía muy conforme con la deontología del profesor exponer a los alumnos al riesgo de un proceso didáctico defectuoso, como el que se hubiera seguido en el caso de que los factores no alterados fueran los causantes del mal rendimiento. Así, pues, se decidió actuar conjuntamente sobre los tres factores apuntados -libro de texto, información sobre errores, y frecuencia de uso de los términos- esperando subsanar con una observación continuada más cuidadosa el defecto metodológico que pudiera suponer esta decisión.

3.3.1.2.2. Estudio comparativo de los términos

Se han comparado los distintos términos teniendo en cuenta el número de definiciones correctas y el de definiciones erróneas -más respuestas en blanco- que dan los alumnos a cada uno de ellos. La Tabla VIII recoge los resultados.

El ítem definido bien por más del 75% de los alumnos que escriben la prueba, es el 8 -diferencia de potencial-. En el extremo opuesto se encuentra el ítem 3 -deformación

unitaria por cizalladura- en cuya definición fallan más del 75% de los respondientes.

TABLA VIII.- Porcentaje y tipos de definición para algunos items.

	N > 75%	75% > N > 50%
Respuestas correctas	8	1,5,6,9,12,
	---	14,16,20
Respuestas erróneas o no dadas	3	7,11,13
	---	11,15,18,19,21

N = Porcentaje de casos en que se define el ítem de una forma determinada (correcta o incorrecta). Los números que se encuentran en las casillas corresponden a los ítems del cuadro 1. Si esos números se encuentran en la línea superior de la casilla se trata de definiciones dadas en la 1ª o 4ª evaluación; si se encuentran en la línea inferior se trata de definiciones que aparecen en la prueba de suficiencia.

Como puede comprobarse, aciertos y fallos no se reparten por igual entre todos los ítems; tanto unos como otros se acumulan en determinados ítems. Lo primero que sugiere una constatación de este tipo es la necesidad de una intervención didáctica, en la que se preste atención especial a los ítems que parecen especialmente difíciles y que pudieran ser los que obtienen menor éxito. Pero cabe también preguntarse si, el hecho de que se acumulen las respuestas incorrectas en un ítem, se debe a la dificultad intrínseca del concepto representado por el mismo o a otras causas. Esta preocupación se tuvo presente en el trabajo a lo largo del curso 88/89.

3.3.1.2.3. Avances y retrocesos.

Se han establecido comparaciones entre las definiciones dadas por el mismo sujeto en dos ocasiones distintas y para el mismo ítem; se pretendía ver si había avances o retrocesos en la actuación de los sujetos. Como se ha dicho, dos ítems de la primera evaluación aparecen en el examen de la cuarta y uno de la primera, más otro de la cuarta, aparecen en el examen de suficiencia.

Con el fin de simplificar se han dividido en tres grupos las respuestas, y en este orden: 1º respuesta errónea o nula; 2º respuesta incompleta o particularizada; 3º respuesta correcta. Se considera que un sujeto avanza

cuando, al definir dos veces el mismo ítem, su respuesta en el segundo caso es de un orden superior al de la respuesta dada en el primero; se considera que hay retroceso cuando se produce el fenómeno contrario; si las dos respuestas son del mismo orden, se considera que hay estacionamiento. Un caso particular del avance, el que más interesa desde el punto de vista didáctico, es el que conduce a la respuesta correcta. Los resultados de las comparaciones establecidas están recogidos en la Tabla IX. En ella, los números de ítems están referidos al cuadro 1.

TABLA IX.- Avances, retrocesos y estacionamientos en las definiciones.

Item	Evalua-	Casos ob-	Avances	Retroc.	Estacio.	Corrigen
		servados				
1	1ª y 4ª	53	15	13	25	14
3	1ª y suf	30	8	3	19	7
4	1ª y 4ª	53	13	13	27	10
11	4ª y suf	30	8	2	20	5

En la Tabla IX, bajo el epígrafe "corrigen" se ha puesto el número de alumnos que llegan a la respuesta correcta. Se trata de casos particulares de avances, incluidos también en los reseñados bajo el epígrafe "avances".

Como puede verse en la Tabla IX en lo que respecta a los items 1 y 4, ambos presentes en los exámenes de la 1ª y de la 4ª evaluación, casi la mitad de los sujetos permanecen estacionarios; un cuarto aproximadamente avanza y otro cuarto retrocede. De los que avanzan, la mayor parte llega a la respuesta correcta. En contrapartida, entre un 10% y un 13% de los sujetos que habían contestado correctamente en la 1ª evaluación retroceden al llegar a la 4ª. Los resultados son distintos cuando entra en juego la prueba de suficiencia: en concreto, los items 3 y 11. Alrededor de 2/3 de la población permanece estable; 1/4 avanza y el resto retrocede. No se insiste más en las comparaciones entre los distintos casos por dos razones: a) hay un cambio cualitativo -y no sólo cuantitativo- en los sujetos considerados, ya que los items 1 y 4 se pasan a toda la población, mientras que los items 3 y 11 se pasan sólo a quienes tienen que realizar la prueba de suficiencia; prescindiendo así de los alumnos que han tenido una mejor actuación a lo largo del curso. b) El intervalo de tiempo transcurrido entre los exámenes de las evaluaciones 1ª y 4ª es de varios meses, mientras que el tiempo transcurrido entre el examen de la 4ª evaluación y la prueba de suficiencia no llega tres semanas.

3.3.2. Problemas de terminología en los grupos A88 y B88

A lo largo del curso 88/89 se siguió con bastante interés el tema de la terminología, y se introdujeron medidas conducentes a mejorar la actuación de los alumnos y a facilitar la interpretación de los datos. Las medidas más importantes fueron:

(i) Se pasó una encuesta inicial a todos los alumnos con el fin de tener una idea aproximativa de su situación inicial, por lo que respecta a la terminología.

(ii) Se procuró mejorar la acción didáctica con la intención de favorecer, lo más posible, el aprendizaje significativo y eliminar el memorístico. A este efecto, siempre que aparecía un nuevo término o expresión: a) se explicaban las relaciones entre el concepto así designado y otros conceptos que deberían ser conocidos en ese momento; b) se ponía de manifiesto la relación entre el concepto y las observaciones llevadas a cabo en el trabajo de laboratorio, siempre que esto era posible; c) se ilustraba el concepto ejemplificándolo en fenómenos corrientes en la vida ordinaria; d) se realizaba algún ejercicio numérico en la mayoría de los casos para que el alumno asociara el concepto a expresiones y operaciones matemáticas.

(iii) Se recomendó un libro de texto, Tipler (1984), al que se hizo referencia con bastante frecuencia, indicando, sobre todo, los lugares donde podían encontrarse las

definiciones precisas de los distintos términos. Con esta medida se pretendía disminuir la influencia negativa que pudieran tener unas transcripciones incorrectas, hechas por los alumnos al tomar sus apuntes en clase. Conviene, no obstante, precisar algo más la función que se asignó al libro de texto. En algunos análisis de libros de texto, tanto españoles (Bullejos de la Higuera, 1983), como de habla inglesa (Strube, 1989), se pone de relieve la predominancia de actividades, tales como la utilización de relaciones matemáticas, para introducir conceptos o para aplicarlos a situaciones concretas. Tipler no es una excepción. Precisamente por eso, el desarrollo de las clases siguió en la mayoría de los casos un camino distinto al diseñado en el libro de texto. Tipler fue tratado, más que como libro de texto propiamente dicho, como libro de referencia, donde fuera posible encontrar, de forma ordenada, datos, desarrollos teóricos y buen acopio de ejercicios numéricos y problemas.

(iv) Se indicó a los alumnos que, en todos los ejercicios de examen, se les iba a pedir que definieran un número determinado de conceptos específicos de la Física. Esta indicación se hizo a principios de curso, se repitió varias veces a lo largo del año y se llevó a la práctica de manera totalmente consistente. Con ello se pretendía fomentar la motivación de los alumnos, aunque fuera de manera exógena, para que pusieran mayor interés en el aprendizaje de la terminología.

(v) Siguiendo la costumbre del curso anterior, antes de comenzar una unidad didáctica, se proporcionaba a los alumnos, en la mayoría de los casos, la lista de términos técnicos importantes que serían objeto de estudio a lo largo de esa unidad.

(vi) En cada uno de los exámenes, cuatro en total, se pidió la definición de 10 términos o expresiones; se demandaron, pues, 40 definiciones, aunque el número de ítems definidos es menor porque algunas de las definiciones se repitieron en dos o tres ocasiones diferentes.

(vii) Se aumentó el número de casos en los que un ítem determinado aparece en varios exámenes. Esto permitía establecer las pautas de avance o retroceso de los alumnos, basándose en un número mayor de casos observados. A este efecto hay que advertir que, desde hace años, el Seminario de Física y Química del centro sigue la costumbre de incluir, en cualquiera de los exámenes que tengan los alumnos, cuestiones entresacadas de toda la materia vista hasta entonces, sin que obste el que dichas cuestiones se refieran a temas tratados en evaluaciones anteriores.

(viii) Después de los exámenes se intentó discernir, en conversaciones con los alumnos y comentando con ellos sus escritos de examen, si las definiciones incorrectas se debían a errores conceptuales o a deficiencias en la expresión. En estas conversaciones se trató también de

detectar cuáles pudieran ser los condicionantes de los errores conceptuales.

(ix) A los alumnos se les proporcionó, después del examen, información sobre sus errores terminológicos. Esta información se dio de forma individualizada en la mayoría de los casos aunque, en situaciones de fallos muy generalizados, se hacían comentarios a toda la clase.

Los términos, expresiones o conceptos, cuya definición se pidió aparecen en el cuadro 2.

Cuadro 2

Términos, expresiones o conceptos, cuya definición se pidió a los alumnos de los grupos A88 y B88

(Entre paréntesis figura la ocasión en que se presentan los ítems: 1 = examen de la 1ª evaluación; 2 = exa. de la 2ª eval.; 3 = exam. de la 3ª eval.; s = exam. de suficiencia)

1. Movimiento ondulatorio (1)
2. Movimiento armónico simple (1,2)
3. Longitud de onda (1,2,3)
4. Amplitud en un movimiento armónico simple (1,3)
5. Módulo de cizalladura (1)
6. Constante de fuerza de un muelle (1,3)
7. Límite de elasticidad (1,2,3)
8. Onda armónica (1)
9. Período en un movimiento armónico simple (1,2,s)

10. Velocidad de propagación de una onda (1)
11. Ley de Hooke (2)
12. Diferencia de potencial gravitatorio entre dos puntos (2)
13. Módulo de Young (2,3)
14. Onda longitudinal (2,3)
15. Amplitud en un movimiento ondulatorio (2)
16. Ley de gravitación universal (2)
17. Fuerza electromotriz (3,s)
18. Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos (3)
19. Capacidad de un condensador (3)
20. Frente de onda (3)
21. Frecuencia angular (s)
22. Deformación unitaria por cizalladura (s)
23. Conductor óhmico (s)
24. Efecto Joule (s)
25. Dieléctrico (s)
26. Potencial gravitatorio en un punto (s)
27. Constante de tiempo en un circuito con resistencia y condensador (s)
28. Oscilación (s)

3.3.2.1. Clasificación de las respuestas

El esquema de clasificación utilizado al estudiar las respuestas de los grupos A87 y B87, ha resultado útil en el

caso de los grupos A88 y B88. Se utilizan, pues, éstas clases: 1ª para las respuestas correctas (con tres subclases), 2ª para las respuestas incompletas, 3ª para las particularizaciones, 4ª para las respuestas erróneas y N.C. para los casos en que no hay contestación. Para más detalles véase el apartado anterior 3.3.1.1 (pág. 165).

La Tabla X recoge los resultados. En ella hay algunas variantes por lo que respecta a su homóloga, la Tabla VII, correspondiente al curso anterior. En la Tabla X se dan porcentajes, en vez de números absolutos, y se añade una última columna en la que figura el número de participantes en cada prueba.

Tabla X.- Distribución porcentual de las definiciones que los alumnos del curso 88/89 dan a los términos del cuadro 2

Térn	1ª a	1ª b	1ª c	2ª	3ª	4ª	N.C.	n
1(1)	50.0	0.0	0.0	10.9	1.6	23.4	14.1	64
2(1)	53.1	0.0	0.0	7.8	0.0	31.3	7.8	64
2(2)	61.3	3.2	0.0	1.6	3.2	21.0	9.7	62

3(1)	54.7	6.3	9.4	3.1	0.0	17.2	9.4	64
3(2)	51.6	4.8	9.7	0.0	0.0	22.6	11.3	62
3(3)	56.4	3.6	9.1	0.0	0.0	16.4	14.5	55
4(1)	51.6	0.0	0.0	6.3	10.9	23.4	7.8	64
4(3)	45.5	1.8	1.8	12.7	14.5	16.4	7.3	55
5(1)	17.2	0.0	0.0	17.2	0.0	53.1	12.5	64
6(1)	12.5	35.9	0.0	9.4	3.1	21.9	17.2	64
6(3)	12.7	27.3	0.0	5.5	0.0	40.0	14.5	55
7(1)	32.8	0.0	0.0	1.6	1.6	60.9	3.1	64
7(2)	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	21.0	62
7(3)	38.2	0.0	0.0	0.0	0.0	49.1	12.7	55
8(1)	12.5	1.6	0.0	4.7	3.1	57.8	20.3	64
9(1)	62.5	7.8	0.0	3.1	3.1	12.5	10.9	64
9(2)	58.1	3.2	0.0	3.2	1.6	16.1	17.7	62
9(s)	52.3	20.5	0.0	0.0	0.0	20.5	6.8	44
10(1)	57.8	4.7	0.0	1.6	14.1	17.2	4.7	64
11(2)	16.1	54.8	0.0	0.0	0.0	11.3	17.7	62
12(2)	59.7	0.0	0.0	3.2	6.5	24.2	6.5	62

13(2)	35.5	25.8	0.0	12.9	0.0	11.3	14.5	62
13(3)	10.9	40.0	0.0	16.4	0.0	20.0	12.7	55
14(2)	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	67.7	25.8	62
14(3)	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	29.1	55
15(2)	8.1	1.6	12.9	16.1	21.0	22.6	17.7	62
16(2)	16.1	45.2	0.0	11.3	6.5	6.5	14.5	62
17(3)	7.3	10.9	0.0	12.7	0.0	38.2	30.9	55
17(s)	31.8	4.5	0.0	22.7	0.0	29.5	11.4	44
18(3)	25.5	3.6	0.0	34.5	0.0	21.8	14.5	55
19(3)	3.6	54.5	0.0	0.0	0.0	25.5	16.4	55
20(3)	16.4	0.0	3.6	3.6	3.6	25.5	47.3	55
21(s)	0.0	47.7	0.0	2.3	2.3	31.8	15.9	44
22(s)	2.3	4.5	18.2	6.8	0.0	59.1	9.1	44
23(s)	47.7	2.3	0.0	0.0	0.0	27.3	22.7	44
24(s)	34.1	0.0	0.0	9.1	0.0	13.6	43.2	44
25(s)	47.7	0.0	0.0	6.8	0.0	15.9	29.5	44
26(s)	56.8	0.0	0.0	13.6	2.3	22.7	4.5	44
27(s)	0.0	20.5	0.0	0.0	2.3	6.8	70.5	44

28(s)	31.8	0.0	0.0	4.5	25.5	29.5	9.1	44
-------	------	-----	-----	-----	------	------	-----	----

En la Tabla X, los números de la primera columna, que aparecen en primer lugar, hacen referencia a los ítems del cuadro 2 y los números o letras que están entre paréntesis, en la misma columna, hacen referencia a la prueba de evaluación en que aparece el ítem.

3.3.2.2. Discusión de las respuestas

3.3.2.2.1. Nivel de actuación de los alumnos

Se ha dado a cada alumno una puntuación, p , cuyo significado se ha descrito antes. p es el porcentaje de respuestas correctas, referido al total de respuestas pedidas en los exámenes en los que ha intervenido el alumno. Los resultados están representados en la figura 2 (pág.188). El haber establecido una puntuación porcentual facilita las comparaciones; sin embargo, conviene advertir que no todos los alumnos realizaron el mismo número de pruebas. De los 66 alumnos que formaban el total del curso 88/89, 64 escribieron la prueba de la primera evaluación, 62 la de la segunda, 55 la de la tercera y 44 el examen de suficiencia. Uno de los alumnos no escribió ninguna prueba y no se le ha tenido en cuenta en los cálculos.

La actuación de los alumnos no es precisamente brillante. La puntuación media es $\bar{p} = 43.4$, siendo la

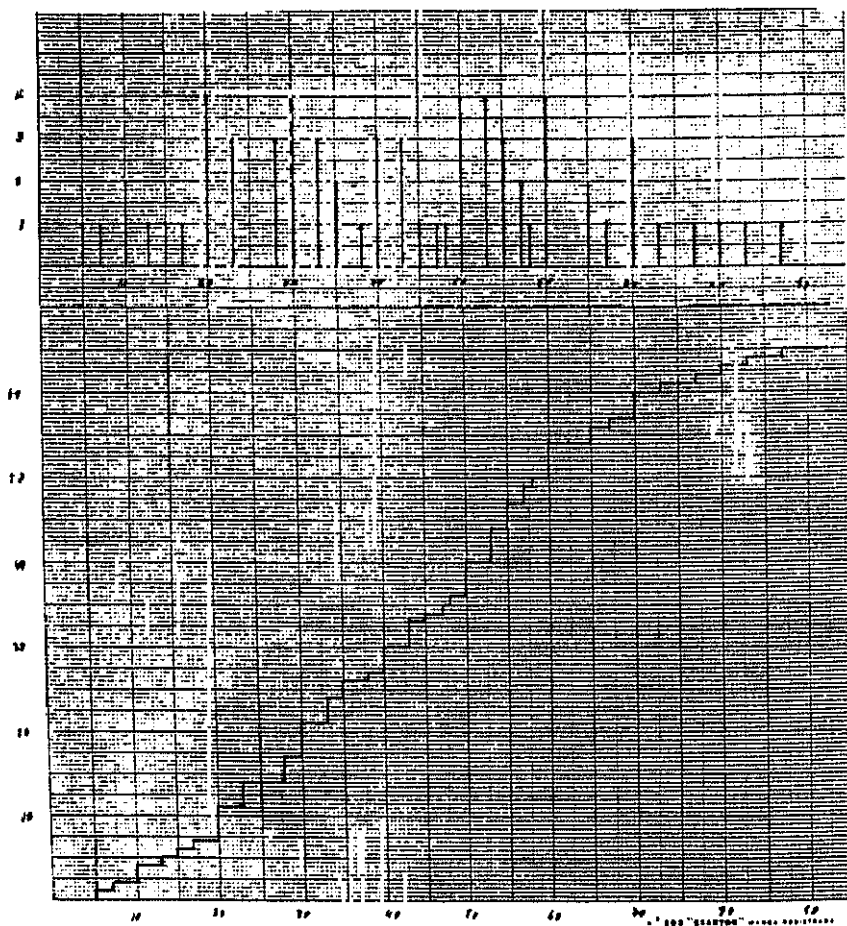


Fig. 2. Frecuencias (arriba) y diagrama acumulativo de frecuencias (abajo) para las puntuaciones de los grupos A88 y B88 tomados conjuntamente.

desviación típica $s = 20.0$. No hay mucha diferencia entre los resultados del grupo A88 y B88. Para el primero, $\bar{p} = 45.5$ y $s = 18.4$; para el segundo, $\bar{p} = 41.4$ y $s = 21.2$. La diferencia entre los grupos es menor que en el curso anterior.

La media obtenida en el curso 88/89 es superior a la obtenida durante el curso anterior (recuérdese que ésta era $\bar{p} = 40.5$); en términos relativos, la media del curso anterior ha subido un 7%. Esto pudiera ser un indicador de que las pautas que se adoptaron a principios del curso 88/89 -descritas al comienzo de la sección 3.3.2- surtieron efecto. El indicador toma más cuerpo si se tiene en cuenta el hecho de que los grupos del curso 88/89, que obtienen mejores resultados en terminología, presentan unos resultados académicos globales inferiores a los alumnos del curso anterior. Así, por ejemplo, mientras que el número de alumnos de los grupos A87 y B87 con asignaturas pendientes de 3ª eran 13, con un total de 19 casos de asignaturas pendientes, los correspondientes alumnos de los grupos A88 y B88 eran 23, con un total de 34 casos de asignaturas pendientes.

A pesar de todo, queda bien claro que, la mejora del 7% en los resultados, no se aduce como prueba de que las pautas seguidas en el curso 88/89 sean la causa de la mejoría en el rendimiento. El proceso por el que se implementaron no revistió las garantías metodológicas suficientes para

sustentar esa afirmación. No obstante, los datos permiten establecer una hipótesis plausible: el conjunto de factores de que se habla al principio de 3.3.2 (pág.179-182), o algún subconjunto del mismo, ayudan a mejorar el rendimiento académico en lo que respecta a la terminología.

Hay otro punto que puede establecerse con más solidez y que sirve de base a las reflexiones ulteriores: los malos resultados que aquí se comentan son auténticos problemas de comprensión; las respuestas defectuosas no son solamente problemas de expresión. Las conversaciones mantenidas con la mayoría de los alumnos, uno a uno, después de cada evaluación, y con varios de ellos después de la prueba de suficiencia, han proporcionado la base para hacer la afirmación anterior.

Establecido esto, hay que reconocer que el dominio de la terminología constituyó también un problema, bastante grave, para los alumnos de los grupos A88 y B88. Ningún alumno obtuvo el 100% de éxitos y solamente 4 -6.2% del número de alumnos- superaron con éxito el 75% de las cuestiones.

En términos generales, la falta de competencia terminológica es una carencia grave que, al mismo tiempo que revela conocimiento deficiente, impide profundizar en el aprendizaje de la Física; sobre todo en aspectos tales como el reconocimiento de conceptos en casos prácticos, el estudio de la relación existente entre los distintos

conceptos y la resolución de problemas. Al menos para la población estudiada en este trabajo, uno de los factores que dificultó el avance en la Física fue el escaso dominio de su lenguaje. La afirmación anterior, aunque bien documentada, no es lo más importante del estudio. Es aún más interesante buscar una explicación a la deficiente competencia terminológica. ¿Por qué se da esa deficiencia? En la sección 3.3.3 se intentará buscar explicaciones.

3.3.2.2.2. Estudio comparativo de los distintos ítems

La Tabla XI contiene el porcentaje de respuestas correctas para cada uno de los términos del cuadro 2. Recuérdese que el número total de intervinientes varía de una evaluación a otra.

TABLA XI.- Porcentaje de definiciones correctas correspondientes a los ítems del cuadro 2

Ítem	%	Ítem	%
1(1)	50	12(2)	60
2(1)	53	13(2)	61
2(2)	65	13(3)	51

3(1)	70	14(2)	6
3(2)	66	14(3)	11
3(3)	69	15(2)	23
4(1)	52	16(2)	61
4(3)	49	17(3)	18
5(1)	17	17(s)	36
6(1)	48	18(3)	29
6(3)	40	19(3)	58
7(1)	33	20(3)	20
7(2)	42	21(s)	48
7(3)	38	22(s)	25
8(1)	14	23(s)	50
9(1)	70	24(s)	34
9(2)	61	25(s)	48
9(s)	73	26(s)	57
10(1)	63	27(s)	20
11(2)	71	28(s)	32

Los números o letras que están entre paréntesis y que siguen al número con el que se designa el ítem, tienen el mismo significado que en el cuadro 2.

Como puede verse, los porcentajes varían en una amplia gama que va desde los ítems que obtienen entre el 70% y 75% de respuestas correctas -longitud de onda (1ª eval.), período en un movimiento armónico simple (1ª eval. y suf.), ley de Hooke (2ª eval.)- hasta los ítems que no llegan a conseguir el 15% de respuestas correctas -onda armónica (1ª eval.), onda longitudinal (2ª y 3ª eval.)-. Con más de 60% de aciertos, y menos de 70%, están el movimiento armónico simple, la velocidad de propagación de una onda, la diferencia de potencial gravitatorio y el módulo de Young; por otra parte, con más de 15% de aciertos, aunque menos del 25%, están el módulo de cizalladura, la fuerza electromotriz (3ª eval), la constante de tiempo en un circuito con resistencia y condensador, el frente de onda y la amplitud en un movimiento ondulatorio.

3.3.2.2.3. Avances y retrocesos

El hecho de haber aumentado el número de ítems, cuya definición se pedía en más de una ocasión, ha permitido establecer mayor número de relaciones y comparaciones entre

las formas de actuar de un mismo alumno en ocasiones diferentes. Los items que aparecieron más de una vez en los exámenes fueron 9. Tres de ellos aparecieron en tres ocasiones y el resto en dos. En el caso de los items que aparecen en tres ocasiones, pueden establecerse tres comparaciones en lo que respecta a la actuación del alumno; en efecto, se pueden comparar las actuaciones 1ª y 2ª, 1ª y 3ª, y, 2ª y 3ª. Al haber tres items que aparecen en tres ocasiones se manejaron un total de nueve comparaciones; a ellas hay que añadir las seis que pudieron establecerse en el caso de los items que aparecen solamente en dos ocasiones.

Un dato a tener en cuenta es que el número de alumnos cuyas actuaciones se compara varía de una prueba a otra. De hecho, algunos alumnos intervinieron solamente en una o dos pruebas. Esto hace que el número de comparaciones que puede efectuarse entre sus actuaciones sea muy reducido y, en consecuencia, un indicador pobre de la forma en que evoluciona el alumno. Son 12 los sujetos que se encuentran en esas circunstancias. Para dos de ellos no había datos que permitieran establecer comparaciones; para uno, sólo era posible establecer una comparación; para cinco, sólo podían establecerse cuatro comparaciones; para cuatro, sólo seis. En los cálculos de porcentajes que siguen, se ha prescindido de esos 12 alumnos.

La población estudiada en esta sección queda, pues, reducida a 53 sujetos. Para 38 de ellos es posible establecer 15 comparaciones; para 15 de ellos, los que no necesitaron presentarse a suficiencia, sólo es posible establecer 12 comparaciones. Con el fin de homogeneizar los resultados, se utiliza generalmente la expresión en forma porcentual. El análisis se va a dividir en los siguientes apartados: variaciones experimentadas por los alumnos, variaciones dentro de un concepto determinado, conceptos consolidados y nivel de conocimiento de la población.

(i) Variaciones experimentadas por los alumnos. Avance, retroceso y constancia se han definido como se explicó antes (pág. 176-7). Las categorías con que se clasifican las respuestas se dividen en tres grupos: el superior (categorías 1ª a, 1ª b y 1ª c), el intermedio (categorías 2ª y 3ª) y el inferior (categorías 4ª y N.C.). Dadas dos respuestas de un alumno, se considera que hay avance cuando la respuesta segunda, en orden temporal, pertenece a un grupo de orden superior al de la respuesta primera; si la segunda respuesta pertenece a un grupo de orden inferior se considera que hay retroceso y, si ambas respuestas están en el mismo grupo, se dice que hay constancia.

Las figuras 3a y 3b, 4a y 4b, 5a y 5b, (pp. 197 y ss.) representan, respectivamente, la distribución de frecuencias y los diagramas acumulativos de frecuencias para avances, retrocesos y constancias de los alumnos considerados. En

ordenadas se expresa el número de alumnos; en abscisas se toman valores porcentuales de avances, retrocesos o constancias en la siguiente forma: el porcentaje obtenido por un alumno -en avances, retrocesos o constancias- se halla dividiendo el número de veces que el alumno presenta la modalidad correspondiente por el número total de veces en que puede observarse bien un avance, bien un retroceso, bien una constancia. Recuérdese que el número total de veces en que puede darse cualquiera de estas modalidades, para un alumno determinado es 15 en el caso de 38 alumnos y 12 en el caso de 15 alumnos.

En la Tabla XII figuran los valores medios de los respectivos porcentajes obtenidos por los alumnos. Debajo de cada valor, entre paréntesis, se ha escrito la desviación típica correspondiente.

Obsérvese que el porcentaje medio de constancias es, aproximadamente, igual al doble de la suma de avances más retrocesos. Dentro, ya, de estas dos últimas modalidades, el porcentaje medio de retrocesos es algo superior al de avances. Por término medio, de cada seis casos en que puede producirse cambio, sólo en uno se da avance.

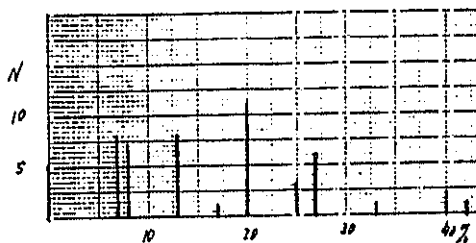


Fig. 3 a. Avances (Distribución)

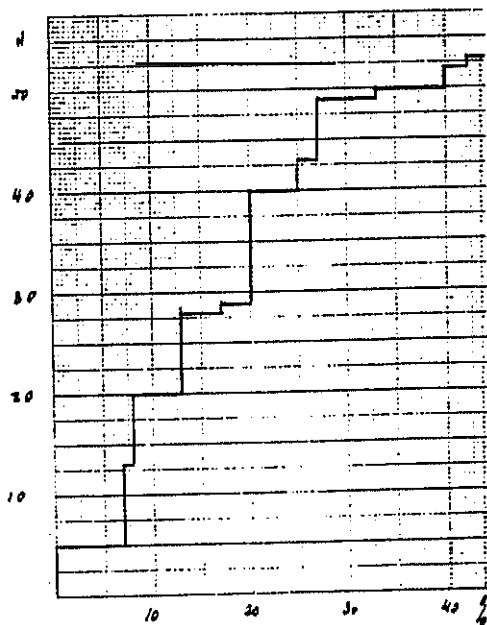


Fig. 3 b. Avances (d. acumulativo)

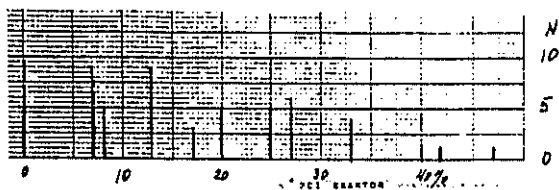


Fig. 4 a. Retrocesos (distribución)

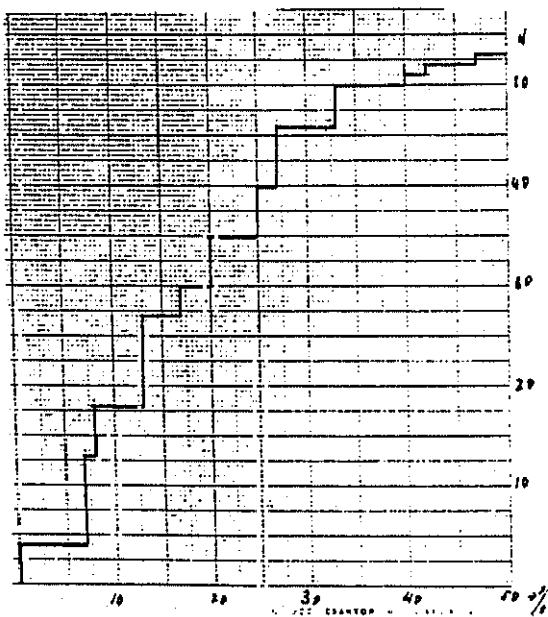


Fig. 4 b. Retrocesos (d. acumulativo)

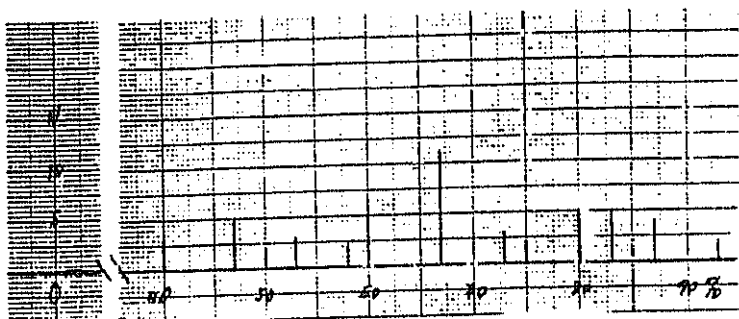


Fig. 5 a. Constancias (distribución)

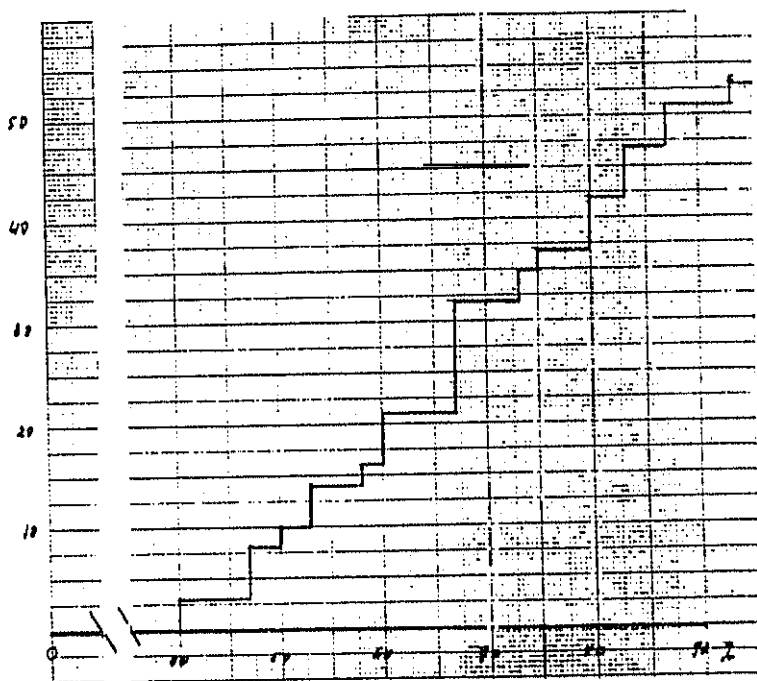


Fig. 5 b. Constancias (d. acumulativo)

TABLA XII.- Porcentajes medios (con desviaciones típicas) de avances, retrocesos y constancias para los grupos A88 y B88.

	A88	B88	Conjunto
Avances	16.4	15.5	15.9
	(11.3)	(9.4)	(10.4)
Retrocesos	16.8	17.9	17.3
	(12.9)	(9.2)	(11.2)
Constancias	66.8	66.7	66.8
	(15.9)	(13.2)	(14.6)

(ii) Variaciones dentro de los distintos ítems. En el apartado anterior se ha informado sobre la frecuencia con que los alumnos presentaban avances, retrocesos y constancias. Es también interesante ver la frecuencia con que estos tres fenómenos ocurren dentro de un ítem

determinado. La Tabla XIII contiene la información correspondiente. La población tenida en cuenta está constituida por 53 alumnos, según se explicó antes.

Como puede verse, los porcentajes de variación no son iguales para todos los conceptos. Hay tres ítems que destacan en los extremos de la gama. Estos son: el 17 (fuerza electromotriz) con el máximo de avances (45%) y mínimo de constancias (50%); el 14 (onda longitudinal) con el máximo de constancias (87%) y el mínimo de avances (8%) y retrocesos (4%); y el 6 (constante de fuerza de un muelle) con el máximo (26%) de retrocesos.

Tabla XIII.- Variabilidad dentro un mismo ítem

Item	Avances	Retrocesos	Constancias	Casos
2	12	8	33	53
	23	15	62	
3	15	23	121	159
	9	14	76	
4	13	11	29	53
	25	21	55	

6	6	14	33	53
	11	26	62	
7	32	31	96	159
	20	19	60	
9	19	20	88	127
	15	16	69	
13	9	13	31	53
	17	25	58	
14	4	2	47	53
	8	4	87	
17	17	2	19	38
	45	5	50	

Los números de la columna de los ítems corresponden al cuadro 2. La última columna representa el número de casos en que puede darse variación. El número superior de cada casilla indica los casos observados y el inferior expresa esa misma cantidad en forma porcentual.

(iii) Conceptos consolidados. Bajo la denominación de "conceptos consolidados" se designan aquí aquellos ítems que

aparecen más de una vez en las pruebas y que son definidos siempre -tantas veces cuantas aparecen- de manera correcta por el mismo alumno. La consolidación puede considerarse como un indicador de que los conceptos en los que se manifiesta están bien aprendidos por el alumno, sin que ese conocimiento se pierda. Los datos pueden ser considerados desde dos perspectivas: la del alumno (cada alumno presenta un número más o menos elevado de esos conceptos) o desde el ítem (algunos ítems parece que se prestan más a la consolidación que otros).

La Tabla XIV presenta los datos desde la perspectiva del alumno

Tabla XIV.- Distribución de los alumnos según el porcentaje de conceptos consolidados que presentan

Casos	$0\% \leq p \leq 25\%$	$25\% < p \leq 50\%$	$50\% < p \leq 75\%$	$75\% < p$
9	21	10	6	1
8	5	4	6	0

La primera columna indica el número de casos en que un determinado ítem aparece, para un alumno, más de una vez. En la primera fila, "p" es el porcentaje de conceptos consolidados (tomado sobre 9 u 8). En las casillas figura el número de alumnos que consigue ese porcentaje.

Como puede verse, solamente 13 alumnos -una cuarta parte aproximadamente de la población considerada- ofrecen, de manera consistente, definiciones correctas para más de la mitad de los ítems considerados y solamente 1 alumno las ofrece en más del 75% de los casos. A la vista de esto no se puede decir que la pauta ordinaria sea el que el alumno aprenda un concepto y mantenga consistentemente su adquisición; al contrario, esta pauta es poco frecuente y se pueden dar retrocesos como apareció en la Tabla XII.

Otro enfoque interesante consiste en observar, para cada uno de los ítems, el nivel de consolidación. Se entiende por tal el porcentaje de alumnos para quienes ese ítem se encuentra entre los que están consolidados. La Tabla XV presenta los datos.

Puede verse que el nivel de consolidación varía bastante de un ítem a otro. El 3 (longitud de onda), seguido del 2 (movimiento armónico simple) y del 9 (período en dicho movimiento) son los que presentan mayor consolidación. En el extremo opuesto están el 14 (onda longitudinal) y el 17 (fuerza electromotriz).

Tabla XV.- Nivel de consolidación para los distintos ítems

Item	2	3	4	6	7	9	13	14	17
k	47	55	34	30	11	47	40	4	16
n	53	53	53	53	53	53	53	53	38

La primera fila indica el número de ítem, según el cuadro 2; la segunda el porcentaje de alumnos que muestran consolidación en ese ítem; la tercera el número de alumnos tenidos en cuenta al calcular los porcentajes.

(iv) Nivel de conocimiento de la población. Para concluir la presentación de los datos correspondientes a la competencia terminológica de los grupos A88 y B88, se introduce otro indicador: el nivel de competencia terminológica de la clase a lo largo del curso. Bajo esta denominación se designa el porcentaje de definiciones correctas de un ítem determinado y en una prueba determinada. Interesaba ver si el nivel adquirido por un grupo, respecto a determinados términos, variaba con el tiempo. Por eso se han escogido, al elaborar los datos, solamente los ítems que aparecen en más de una ocasión. En

este apartado se ha tenido en cuenta también a toda la población y no sólo los 53 alumnos considerados en los párrafos anteriores. El motivo de ampliar la base es que aquí se establecen comparaciones entre dos situaciones de la población y no entre dos actuaciones de un mismo alumno.

Tabla XVI.- Nivel de competencia terminológica en los ítems que aparecen más de una vez en las pruebas.

Item	Eval.			
	1ª	2ª	3ª	Suf
2	53	65	--	--
3	70	66	69	--
4	52	--	49	--
6	48	--	40	--
7	33	42	38	--
9	70	61	--	63
13	--	61	51	--
14	--	6	11	--
17	--	--	13	36

Los números de la primera columna se refieren a los ítems del cuadro 2. Los símbolos de la primera fila hacen referencia a las pruebas de evaluación. El número en las casillas indica el porcentaje de respuestas que son correctas

La Tabla XVI ofrece las cuatro "tomas" de nivel correspondientes a las cuatro pruebas de evaluación y referidas a los 9 ítems que aparecen en más de una prueba. Como puede observarse, al comparar el nivel para las distintas situaciones, no se verifica la misma pauta en todos los ítems. En algunos, como el 17 (fuerza electromotriz) y el 2 (movimiento armónico simple), se dan avances de 18 y 12 puntos porcentuales respectivamente. En otros, como el 13 (módulo de Young) y el 6 (constante de fuerza de un muelle) se dan retrocesos de 10 y 8 puntos porcentuales respectivamente. En otros, como el 4 (amplitud en un movimiento armónico simple) se da cierta estabilidad y en otros como el 9 (período en dicho movimiento) hay fluctuaciones notables.

3.3.3. Interpretación y comentarios respecto a los problemas de terminología

La lectura de los datos concernientes a la competencia terminológica de los alumnos, ofrece una primera explicación a la interrogante principal planteada al principio de este trabajo: ¿Por qué obtienen los alumno de Física malos resultados? La respuesta es obvia: sencillamente, porque su competencia terminológica es muy baja.

Sin embargo, esta respuesta no es satisfactoria. Además, puede ser tachada de tautológica por aquellos para quienes el conocimiento de la Física, al menos en este nivel, consiste básicamente en comprender los conceptos fundamentales de la disciplina. Para quienes piensan que la Física supone bastante más que la comprensión de un conjunto determinado de conceptos, el explicar los malos resultados obtenidos en la asignatura basándose en la incompetencia terminológica, supone un modesto avance, pero es sólo un primer paso.

(i) Supone un avance, porque es obvio que el alumno que no posea fluidez en el dominio de los términos, y que no comprende bien sus significados, difícilmente puede tener acceso a operaciones de más alto nivel, como son el relacionar unos términos con otros, el utilizar los términos -y los conceptos representados por los mismos- para describir e interpretar las situaciones que se presentan en la naturaleza y el plantear y resolver los problemas

adecuadamente. Por otra parte, es lógico pensar que, el alumno con serias carencias terminológicas, encontrará graves dificultades en el procesamiento -descodificación- de la información que le llega codificada verbalmente; es de suponer, por tanto, que tendrá un rendimiento bastante escaso en la comprensión de lo que lee y de lo que explica el profesor, así como en la ejecución de las actividades de clase para las que se requiere buen conocimiento de los términos que el alumno ignora.

En el caso particular de la población estudiada en este trabajo, puede afirmarse, con buen fundamento, que el bajo rendimiento manifestado en varios aspectos de la asignatura es explicable por las carencias terminológicas.

Al llegar aquí surge espontáneamente una pregunta: ¿es la deficiencia terminológica detectada una pauta general en este nivel del sistema educativo español, o se trata más bien de un fenómeno idiosincrásico, peculiar de la población considerada? La respuesta a esta interrogante cae fuera de los objetivos del presente trabajo. Sin embargo, a la luz de los resultados obtenidos, cabe pensar que es rentable, desde el punto de vista pedagógico, adentrarse en estas dos líneas de acción: un mayor seguimiento y control, por parte de los profesores de Física, de la competencia terminológica de sus alumnos y un muestreo, a escala amplia, para ver si el problema de la población estudiada es algo generalizado.

(ii) Se decía antes, que explicar el bajo rendimiento a partir de la escasa competencia terminológica, es sólo un primer paso. En efecto, cabe preguntar el porqué de los problemas terminológicos. Si se desea hacer un pronóstico y no sólo un diagnóstico, hay que profundizar en la etiología. Esto es lo que se intenta hacer a lo largo de esta sección. Para ello, se van a relacionar los fenómenos descritos con esquemas más amplios, bien establecidos, además, en la literatura científica pertinente. A este efecto, el problema de la competencia -o incompetencia- terminológica se considera desde tres perspectivas: (1) el hecho de que la actuación de la población ha sido poco brillante; (2) el hecho de que en las pautas de variabilidad de la población predominan las constancias; (3) las diferencias que para una misma población, y en las mismas circunstancias, se observan entre unos ítems y otros.

Antes de continuar conviene hacer una advertencia: en el estudio que sigue se han tomado, como base fundamental, los datos relativos a los grupos A88 y B88, porque los correspondientes a esos grupos son más abundantes y, sobre todo, de mucha mejor calidad ya que, como se dijo antes, pg.181, párrafo (viii), ha habido bastantes conversaciones particulares con los alumnos, para evitar equívocos en la obtención e interpretación de esos datos. En el trabajo se han conservado, sin embargo, los correspondientes a los grupos A87 y B87 para ilustrar la dinámica del proceso que se ha seguido. Como suele ocurrir, cuando se emplean métodos

cualitativos, no es raro que en el mismo proceso de investigación surjan aspectos o descubrimientos que obligan a ajustar más el enfoque y a refinar los procedimientos de observación. Esto fue lo que sucedió con la competencia terminológica. En el curso 87/88 se detectó la existencia del problema, y en el curso 88/89 se estudió con más detenimiento y rigor.

3.3.3.1. La escasa competencia terminológica

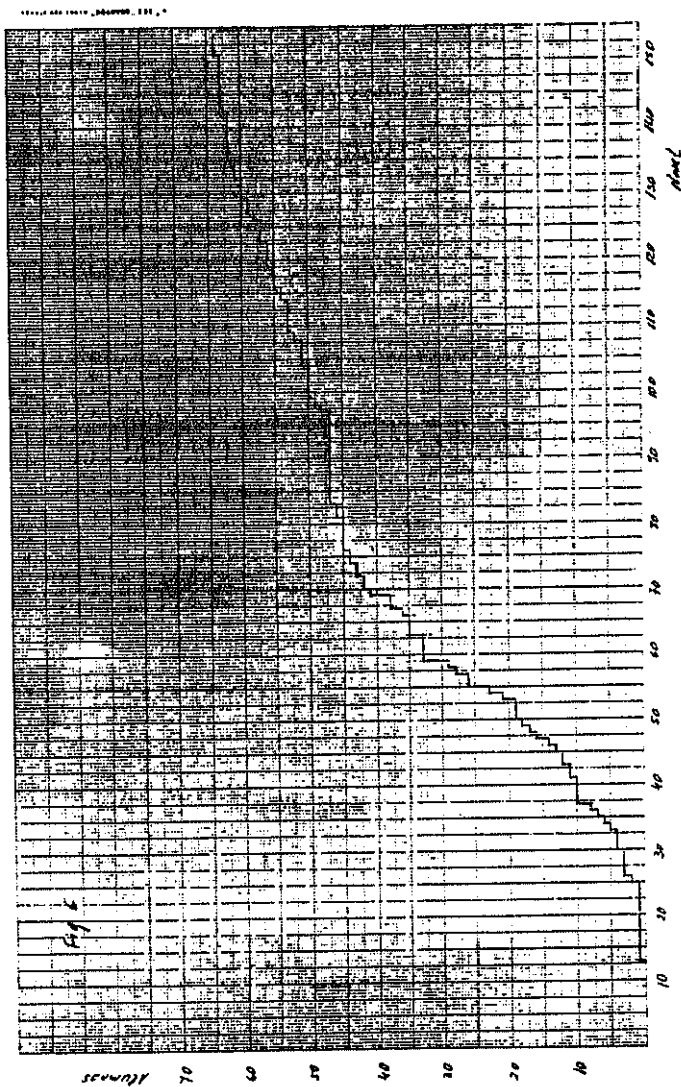
El hecho más saliente que reclama la atención es el bajo nivel de éxitos de la población considerada, a pesar de que se siguieron pautas de actuación didáctica que permitían esperar mejores resultados. ¿Por qué no llegaron los alumnos a conseguir cotas más altas? La información recabada en el trabajo de campo permite establecer tres hipótesis explicativas que no son tres alternativas, sino que se complementan mutuamente: el número de términos o expresiones, cuyo significado debían aprender los alumnos, era excesivo, dadas las condiciones iniciales de éstos; los alumnos no habían asumido plenamente el carácter preciso y unívoco de la terminología de la Física; no había una jerarquización adecuada dentro del temario.

(1) Desproporción entre lo que conocían los alumnos a principios de curso y lo que tenían que aprender. Al comenzar el curso 88/89 se pasó a todos los alumnos una

lista de 263 items, la que figura en el Anexo II. Estos items son de carácter bastante variado y van desde nociones muy simples hasta la enunciación de leyes físicas; todos, sin embargo, deben ser conocidos por un alumno que desee satisfacer los requerimientos que impone el temario del Bachiller de Ciencias de la Naturaleza.

Se pidió a los sujetos que marcaran con una cruz aquellos items de cuyo conocimiento tenían plena seguridad. Se les procuró motivar haciéndoles ver cómo el conocimiento adecuado, por parte del profesor, de las condiciones iniciales en que ellos se encontraban, podría ser de mucha utilidad para planificar y desarrollar la enseñanza a lo largo del curso. Con el fin de que los alumnos no tuvieran la sensación de que "eran examinados" nada más comenzar el curso, se les dijo que las respuestas deberían ser anónimas. En este mismo test se introdujo un control para estimar el grado de fiabilidad de las respuestas: se pidió a los alumnos que, una vez hubieran terminado de marcar los items que creían conocer bien, escogieran diez de entre ellos y los definieran por escrito. La figura 6 (página siguiente) es un diagrama acumulativo de frecuencias del nivel inicial de los alumnos. Cada nivel se define por un número: el número de items que el alumno dice conocer.

Supóngase que se ordenan los alumnos según el número de items que dicen conocer y se empieza el ordenamiento por los



que conocen menos. Los del primer cuarto -16 alumnos- no conocen más de 47 ítems; los del segundo cuarto no conocen más de 59; los del tercero no conocen más de 98 y el más avanzado de los alumnos dice conocer 151 ítems. Si se tiene en cuenta que el número de ítems cuyo conocimiento se requiere asciende a 263 -en realidad harían falta algunos más para completar los temarios- resulta que tres cuartas partes de la población tienen que aprender, como mínimo, el significado de 165 palabras o expresiones; para la mitad de los sujetos este número se eleva a 194 y para un cuarto a 216. Considérese ahora el número de clases de Física a las que van a asistir esos alumnos. Debido a las exigencias burocráticas de la selectividad, los exámenes se adelantan a la primera quincena de Mayo. Teniendo en cuenta esto, una estimación muy al alza del número de clases da alrededor de 120. Ello supone que el cuarto inferior de la población debe aprender cada día de clase, por término medio, el significado de 1.8 palabras o expresiones ; para el segundo cuarto, esta razón no va a ser inferior a 1.6 y para el tercer cuarto no va a ser inferior a 1.4 . Si se contempla un aprendizaje que no sea puramente memorístico, sino que sea significativo, hay que pensar que los conceptos que corresponden a las palabras o expresiones, cuyo significado se aprende, tienen que integrarse en la estructura cognitiva que posee el alumno, deben articularse en su mapa conceptual (Novak et al., 1983). Más aún, algunos de los conceptos nuevos -quizás bastantes- solamente quedarán integrados

después de desplazar errores conceptuales preexistentes que, como advierten Mestre et al. (1989), "interfieren con la capacidad de los alumnos para comprender los conceptos presentados en la clase, teniendo lugar esta interferencia sea cual sea la claridad con que los profesores presentan los conceptos. Los errores conceptuales son además muy persistentes en el pensamiento de los alumnos" (l.c., pg. 448). Para aprender de manera efectiva es preciso, pues, relacionar los conceptos nuevos con los que ya se conocen. Eylon et al. (1988), por ejemplo, hablan de dos procesos "uno es la integración que intenta unir concepciones consistentes, pero no relacionadas. Esta unión aumenta la probabilidad de que se recuerde el conocimiento científico y facilita el razonamiento. El otro proceso docente es la diferenciación, que intenta identificar la variedad entre conceptos relacionados, tales como la aceleración y la velocidad. Ambos procedimientos ayudan a los alumnos a crear estructuras conceptuales más robustas, y son especialmente importantes porque algunos estudios han demostrado que los alumnos tienden a mezclar conceptos relacionados, y muchos errores en el razonamiento pueden atribuirse a la ausencia de discriminación entre ellos" (l.c., pg. 259). Además de estos dos tipos de operaciones hace falta resolver problemas en los que intervienen los conceptos nuevos y los ya conocidos, hace falta crear situaciones en las que se provoque un conflicto con los errores conceptuales

existentes...; demasiadas cosas, parece ser, para el corto espacio de tiempo de que se dispone.

Es ilusorio creer que un alumno ha aprendido un concepto por el mero hecho de entender las palabras con que se define y ser capaz de sustituir la verbalización del texto, o del profesor, por otra verbalización propia. Una de las observaciones de campo ilustra esto: a principios de Marzo del 89, estaba estudiando uno de los grupos el concepto de potencial. Se trabajaba con una figura en la que se representaban en dos dimensiones las líneas de fuerza de un campo eléctrico. Se hizo ver, a base de un razonamiento, cómo se encontrarían potenciales cada vez más pequeños si se avanzara a lo largo de una línea de fuerza y en el sentido que tiene ésta. Los alumnos, todos, dijeron haber captado la idea perfectamente y así lo parecía a juzgar por sus comentarios. Continuó la clase. Aproximadamente media hora después se presentó a los alumnos un problema de solución inmediata si aplicaban lo que decían haber comprendido media hora antes. Ni uno solo supo resolver el problema y es que hay un trazo largo entre el aprendizaje verbal de un concepto, y su utilización para describir o tratar situaciones.

La línea de argumentación que se va siguiendo adquiere aún más consistencia si se tienen en cuenta otros dos hechos: (a) el número de ítems conocido por los alumnos es menor de lo que ellos dicen; (b) el grado de conocimiento o

desconocimiento de los items está bastante disperso. A continuación se comentan ambos hechos con más detalle.

(a) Como se dijo antes, al pasar a los alumnos el test inicial, se les pidió que, una vez señalados los items que conocían con plena seguridad, eligieran diez de ellos y los definieran. Se han revisado esas definiciones y se ha asignado a cada sujeto una puntuación igual al número de definiciones correctas. La frecuencia de puntuaciones está representada en la figura 7. La puntuación media es 7.6 y la desviación típica, es $s = 1.67$. La puntuación obtenida por los alumnos no guarda correlación significativa con el número de items que dicen conocer; el coeficiente de correlación, producto-momento de Pearson, es $r = 0.04$.

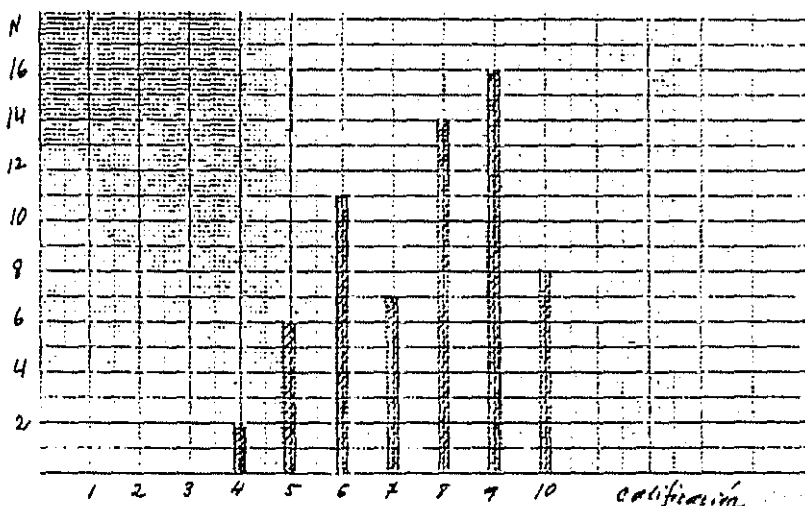


Fig. 7.- Frecuencia de puntuaciones obtenidas en el test inicial.

La puntuación obtenida por los alumnos se ha utilizado para construir una tabla de estimaciones, de la siguiente forma: el número de items que dice conocer un alumno se ha multiplicado por un coeficiente, $c = p/10$, donde p es la puntuación de que se viene hablando. Sencillamente, se ha supuesto que la relación entre el número de items que el alumno cree conocer, y que de hecho no conoce, es la misma que se detecta entre las 10 definiciones ofrecidas por el alumno y aquéllas de las 10 que no son correctas. Según esta tabla estimada, y ordenando los sujetos como se dijo antes, el primer cuarto de alumnos conocería, como mucho, el significado de 33 palabras o expresiones y tendría que aprender al menos 230; el segundo cuarto, conocería 44, o menos, y tendría que aprender como mínimo 219; el tercer cuarto no conocería más de 73 y tendría que aprender al menos 190; el alumno más aventajado conocería 127 y tendría que aprender 136.

(b) El conocimiento o desconocimiento de los items no se concentra en un grupo de ellos; tiene una amplia dispersión. Con otras palabras, no puede decirse que haya un grupo, aunque pequeño, de items conocidos por todos los alumnos.

La figura 8 representa gráficamente la situación: en ordenadas el número de items supuestamente conocidos y en abscisas el número de alumnos que dicen conocerlos.

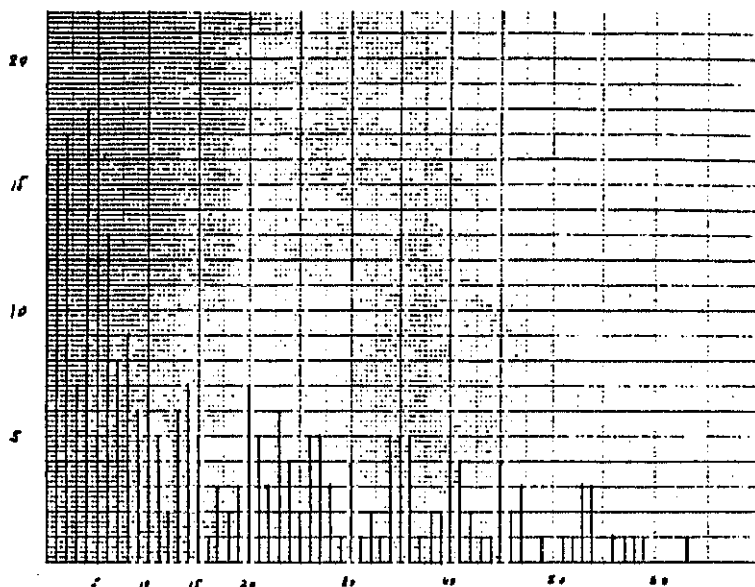


Fig. 8.- Distribución de los ítems según el grado de conocimiento del que supuestamente gozan.

Esta situación impone severas limitaciones al ritmo de la clase: en primer lugar, porque no se puede dar por sabido casi ningún ítem y hay que emplear parte del escaso tiempo en ver cosas que deberían ser conocidas por todos; en segundo lugar, porque siempre hay algún alumno que desconoce

uno u otro término y que, en un proceso didáctico en el que se fomenta mucho la participación, interviene para pedir aclaraciones y frena la marcha general.

De todas las observaciones que se han hecho en este apartado, surge una conclusión bien fundada: o se exige un mayor nivel de conocimiento para que el alumno pueda acceder al último curso de EE. MM., en lo que respecta a Física, o se reduce considerablemente el temario asignado a ese curso. Esta conclusión, no se olvide, es válida sólo para la población estudiada y otras que estén en las mismas condiciones de ella. Esta limitación de validez es el precio que tienen que pagar los estudios de casos. Sin embargo, el método seguido ha puesto de manifiesto factores relevantes que pueden ser sometidos a comprobaciones cuantitativas.

(ii) Los alumnos no tenían asumido el carácter preciso del lenguaje de la Física. Si hay alguna cosa bien establecida en la Física, es la precisión de su lenguaje específico. Los términos están cuidadosamente definidos y se evita a toda costa la ambigüedad y la equivocidad. A veces, como observan Dupin et al. (1989), se utilizan la metáfora y la analogía, a modo de heurísticos, en los procesos de razonamiento. Sin embargo, el lenguaje es, por norma, sobrio y, cuando se llega a la discusión de las experiencias o al informe, se impone la precisión.

Esta forma de hablar -y su homóloga de pensar- no es familiar a los alumnos. Las dos observaciones que siguen ilustran lo dicho:

-- Al comentar con una alumna su ejercicio de examen y, al observar ésta que algunas definiciones de su escrito no estaban puntuadas como si fueran buenas, aunque en las definiciones aparecían rasgos correctos, preguntó: "Y esto que escribo aquí, ¿no puntúa nada?" Se le hizo ver que en Física las definiciones son cosa muy precisa y que, si falta un elemento esencial, como, por ejemplo, la referencia a la masa al definir un campo gravitatorio, el resultado no es válido. No se convence la alumna y comenta después con los compañeros, refiriéndose a la postura del profesor: "O lo dices todo bien, o considera que está mal."

-- Con bastante frecuencia, decían los alumnos que el profesor era "demasiado exacto" -son sus palabras- cuando se les hacía ver las imprecisiones que aparecían en sus explicaciones o informes escritos.

Para entender mejor esta situación quizás haya que tener en cuenta todo el entorno educativo. El único sitio donde todos los alumnos ven, sin duda alguna, la necesidad de precisión es en el campo de las Matemáticas. Pero, para ellos, las Matemáticas son "fórmulas". Pudo observarse que muchos de los alumnos se extrañaban cuando se les hablaba del lenguaje matemático, y se les decía que en él había una sintaxis que debía tenerse en cuenta al formar las

expresiones. La precisión, para los alumnos, está asociada a la "fórmula". Se ha dicho que lo tienen asumido en Matemáticas; también vale para las ciencias. Los alumnos saben bien que si no se emplea la "fórmula" correcta, y de forma precisa, cuando hay que resolver un problema o trabajar un ejercicio de clase, no se llega al resultado apetecido. Sin embargo, esos mismos alumnos no tienen totalmente asumido que haya que utilizar un alto grado de precisión en Física, aun cuando se emplee un lenguaje que no utiliza, en exclusiva, el simbolismo matemático, sino que incluye, al mismo tiempo, palabras que se utilizan en el lenguaje ordinario, tales como "fuerza", "tensión", "trabajo", "energía", etc.

En lo que respecta a su formación lingüística, los alumnos son estimulados durante sus años de educación secundaria para que sean creativos; se les pone en contacto, y se procura que gocen, con el el lenguaje de la literatura, en el que abundan muchas figuras literarias que no son precisamente las apropiadas para la comunicación científica. En esas circunstancias, y con la mentalidad de adolescentes, es explicable que no sea la precisión la cualidad que más aprecian.

Pero hay más. No es raro encontrar asignaturas en las que los alumnos manejan información cuyo único destino, desde su punto de vista, es ser devuelta al profesor cuando llegue el examen; una información, por lo demás, que puede

ser retenida y escrita en un examen de forma parcial, de suerte que la omisión de algunos rasgos de la información disminuya la calidad de ésta, pero no la haga completamente incorrecta. Se pueden referir, por ejemplo, algunos rasgos al describir un fenómeno histórico y omitir otros, sin que por ello el fenómeno deje de ser identificable. En Física no es frecuente que ocurra eso. Si en la descripción de una onda armónica, por ejemplo, se omiten los rasgos relacionados con la longitud de onda, no se describe un movimiento ondulatorio. El carácter de "todo o nada", no fraccionable, de las definiciones de Física, cuando se emplea un lenguaje que no es el estrictamente matemático, cae fuera de los esquemas habituales de los alumnos. Al definir algunos términos como, por ejemplo, la capacidad de un condensador, ofrecen la expresión matemática precisa; cuando se les pide que "traduzcan" eso con otras palabras, suelen fracasar.

Resumiendo: la falta de convencimiento sobre la necesidad de precisión y la escasa frecuencia con que los alumnos practican esta cualidad del lenguaje, pueden ser la segunda clave explicativa de su actuación poco satisfactoria.

(iii) Escasa jerarquización del temario. La literatura científica sobre el aprendizaje ofrece una tercera clave aclaratoria: el grado de organización y jerarquización con que aparece la materia.

Mestre et al. (1989) hacen una revisión de los trabajos que investigan las diferencias existentes entre expertos y principiantes, por lo que afecta al conocimiento. Según ellos, "la investigación cognitiva pone de manifiesto que los expertos recogen y almacenan información en constelaciones o bloques cuya organización puede visualizarse como una pirámide jerárquica en la que los conceptos fundamentales ocupan los niveles más altos, más accesibles, de la jerarquía, estando a continuación los conceptos subordinados y almacenándose en el nivel más bajo la información factual relativa al campo de conocimiento; el acceso a esta última se efectúa a través de los conceptos más fundamentales" (l.c., pg. 452). Estos mismos autores hacen referencia a un estudio en el que se investigó si ayudaría a los alumnos el presentar la materia en la forma en que conocen los expertos; a propósito de ello, añaden: "Al efectuar una comprobación, los estudiantes que habían recibido el tema de forma jerárquica tuvieron una actuación significativamente mejor, tanto en el recuerdo como en las tareas de resolución de problemas, que aquéllos que habían recibido la materia de forma no jerárquica" (ib.).

De hecho, la idea de estructura cognitiva no es reciente. Novak (1982) resumiendo ideas de Ausubel expuestas en 1962, dice que éste "considera que el almacenamiento de información en el cerebro está altamente organizado, con conexiones formadas entre elementos antiguos y nuevos que dan lugar a una jerarquía conceptual en la que los elementos

de conocimiento menos importantes están unidos a (incluidos en) conceptos más amplios, generales, e inclusivos" (l.c., pg. 24).

Brevemente: cabe esperar buenos rendimientos cuando el material está estructurado jerárquicamente. y no tan buenos en caso contrario.

La Física, como campo de conocimiento tomado en su totalidad, está, por supuesto, altamente estructurada y organizada. Quizás por esto se ensayan cursos (Aguiló-López, 1988) al comienzo de los estudios universitarios, entre cuyos objetivos está "abandonar en la presentación de la Física la rigidez de la ortodoxia clásica con su compartimentación en campos estáticos (Mecánica, etc.)" y "resaltar la unidad de la Física y por tanto la interdisciplinariedad entre sus diferentes ramas, que en gran medida tienen un significado puramente histórico" (l.c. pg. 26). Sin embargo, conviene hacer dos matizaciones. La primera es que no todos los conceptos de la Física tienen entre sí el mismo grado de conexión: quizás sea lo más acertado describir el cuerpo de conocimientos de la Física como un sistema total, con sus partes altamente interrelacionadas, pero estructurado al mismo tiempo en subsistemas, dentro de los cuales los elementos se relacionan más estrechamente entre sí que con los elementos de otros subsistemas. La segunda matización es que el carácter sistémico del cuerpo de conocimientos de la Física

es percibido y asimilado a medida que se avanza en el conocimiento de la disciplina. Para un principiante, el carácter sistémico no resulta obvio y, si no se estructuran bien las ideas en torno a núcleos bien definidos, se corre el riesgo de que el alumno no capte el aspecto sistémico. Suele suceder que, para relacionar dos elementos, es preciso haberlos identificado antes; aunque no es raro el caso en que, la relación que mantienen entre sí dos elementos, ayude a identificarlos mejor. Esto sugiere que pudiera ser muy conveniente organizar el aprendizaje de la Física a través de un proceso bastante fluido, en el que hubiera tránsitos frecuentes desde el análisis a la síntesis y viceversa.

El temario de la asignatura, abarca casi todos los capítulos de un tratado tradicional de Física General, incluyendo, además, cosas como la crisis de la Física clásica, la aparición de la mecánica cuántica y la presentación de los aspectos relativistas. El temario es extenso, ya se dijo antes. Aunque no sea mucha la información que supuestamente deben adquirir los alumnos acerca de cada capítulo, el miedo a que aparezca en la prueba de selectividad algo que no se ha visto en clase o que no se ha estudiado bien, favorece más el exceso que el defecto de información; ésta es, pues, relativamente abundante. Cuanto mayor es el número de elementos con que se cuenta, mayor es, generalmente, el número de relaciones que hay que establecer para integrarlos todos en una misma estructura; cuando hay abundancia de datos, se requiere

mayor esfuerzo para organizarlos. Mucha de la información exigida por el temario actual es totalmente nueva para los alumnos. La información, además, está repartida en bloques relativamente desconectados. Es posible, por ejemplo, satisfacer las exigencias del temario sobre elasticidad y movimiento armónico simple, sin que el alumno sepa nada de electricidad y magnetismo y viceversa. El temario no parece asemejarse a un edificio bien trabado, sino a un conjunto de pequeñas adificaciones independientes unas de otras, o, a lo más, unidas por alguna que otra pasarela eventual. La utilización reiterada de alguna idea integradora, como puede ser la energía, remedia en parte la situación, pero no elimina todos los problemas.

La impresión obtenida, tanto entre los grupos A88 y B88, como en los del curso anterior, es que los alumnos se ven abrumados por una gran cantidad de información y datos que no consiguen coordinar e integrar en un todo coherente y jerarquizado, dado el nivel elemental de conocimiento en que se encuentran. Por supuesto, es difícil aquilatar el grado de jerarquización e integración con que los alumnos organizan sus conocimientos, pero puede rastrearse, en muchas de sus manifestaciones, o en la distinción que hacen entre "saber muchas cosas" y "saber mucho de una cosa".

3.3.3.2. Las pautas de variabilidad en la competencia terminológica

Resumiendo, muy esquemáticamente, los datos sobre variabilidad (véanse pp. 195 y ss.) resulta que, para dos terceras partes de los alumnos, por término medio, se mantiene sin variaciones a lo largo del curso lo que han aprendido (o no aprendido) en un momento determinado de ese curso. Por término medio también, la población que experimenta cambios en su conocimiento se reparte casi por igual entre casos de avance y de retroceso. Esta pauta media experimenta, no obstante, desviaciones según se trate de un ítem u otro.

Las afirmaciones anteriores necesitan ser más precisadas y matizadas. Para empezar, esas afirmaciones sólo tienen en cuenta valores medios y no se profundiza más en las distinciones que pueden establecerse dentro de las clases de cambio que se han adoptado: avance, retroceso, constancia. Así, por ejemplo, el número de avances y retrocesos posibles no están referidos, por lo general, a la misma base numérica y, consiguientemente, es distinto, por regla ordinaria, el número máximo que puede darse de unos y otros. Supóngase, para ilustrar lo dicho, que se cuenta con una población de 100 alumnos. Supóngase, además, que 60 de ellos definen correctamente un ítem determinado en una prueba. Cuando se les presenta el mismo ítem, en otra prueba subsiguiente, el número máximo de avances que puede darse es 40 (los 40 alumnos que contestaron mal en la primera ocasión contestan ahora bien), el número máximo posible de retrocesos es 60 (los 60 alumnos que contestaron bien la

primera vez contestan ahora mal) y el número máximo de constancias es 100 (ningún alumno modifica en la segunda ocasión la calidad de su respuesta inicial). Si en la primera prueba hubieran contestado bien 80 alumnos, el número de avances y retrocesos posibles sería distinto. En general, siempre que el número de respuestas correctas sea distinto al de respuestas incorrectas, diferirá el número máximo posible de avances y retrocesos y cambiará también el valor de expresiones tales como

$$P = (\text{Número de avances [retrocesos] efectuados}) / (\text{número de avances [retrocesos] posibles})$$

Puede afinarse más en el análisis de los datos, pues, bajo la denominación "avance" y "retroceso", se han incluido fenómenos equivalentes desde un punto de vista -paso desde un grupo inferior a otro superior y viceversa-, pero diferentes bajo otros aspectos, ya que si el avance se da desde el grupo inferior hasta el intermedio queda remanente una deficiencia determinada; mientras que si el avance supone un tránsito a un grupo superior, el avance elimina cualquier tipo de deficiencia. Por último, no puede perderse de vista que las constancias tienen un significado completamente distinto cuando se refieren a conceptos consolidados -conceptos bien aprendidos que no se pierden- o a conceptos mal aprendidos -o no aprendidos-, en relación con los cuales el alumno no experimenta variación alguna.

Para captar bien la situación hay que hacer un análisis más fino de los datos. La presentación de datos que se ha hecho hasta ahora ha servido para poner en evidencia un fenómeno que, sin duda, puede tener mucha transcendencia en la planificación didáctica: la movilidad de los alumnos en las condiciones en que se ha desarrollado el curso es más bien pequeña, a lo largo del proceso de aprendizaje; más en concreto, es bastante pequeña la ascendente, que es la que interesa. Una presentación más detallada de las observaciones realizadas puede proporcionar nuevas pistas.

A continuación se van a tratar estos tres puntos: (1) presentación más detallada de los datos; (2) claves de interpretación ofrecidas por la investigación sobre el aprendizaje; (3) advertencia sobre las conclusiones en estudios de esta índole.

(1) Presentación más detallada de los datos. Como ya se sabe, de los 9 ítems que aparecen más de una vez en las pruebas, 6 aparecen en dos ocasiones y 3 en tres. Obviamente, cuantas más veces aparece un ítem, más elementos proporciona para poder describir la variabilidad. Se tratan separadamente los ítems que aparecen en dos ocasiones y los que aparecen en tres.

Por lo que respecta a los primeros, los resultados se resumen en la Tabla XVII, en la que se distinguen constancias positivas (ambas respuestas están en el grupo superior, véase pg. 176-7 y 195) y constancias negativas

(ambas respuestas pertenecen al grupo inferior o al intermedio); el avance es total si la segunda respuesta está incluida en el grupo superior, y parcial si está incluida en el intermedio; el retroceso es total si la primera respuesta pertenece al grupo superior, y parcial si pertenece al intermedio.

En la Tabla XVIII se presentan en detalle los datos correspondientes a los ítems que aparecen en tres ocasiones. Las constancias, positivas y negativas, tienen el mismo significado que en la Tabla XVII; de los 144 casos observados -53 en dos ocasiones y 38 en una- 142 responden a las pautas que figuran en la Tabla XVIII; de los dos restantes, uno es un avance que pasa desde el grupo inferior al intermedio y desde éste al superior, y el otro es un retroceso que sigue el camino inverso; ambos se dan en el ítem 9, que, por ese motivo, aparece en la tabla con 36 casos (al no haberse contabilizado los dos mencionados).







Tabla XVII.- Variaciones en detalle de los grupos A88 y B88 en lo que respecta a los ítems que aparecen en dos pruebas

Ítem	Constancia		Avance		Retroceso		Casos
	Positiva	Negativa	Total	Parcial	Total	Parcial	

I	U.P.	C.M.	A.T.	A.P.	R.T.	R.P.	232 C.
2	25	8	9	3	6	2	53
4	18	11	8	3	10	3	53
6	16	17	6	0	12	2	53
13	21	10	7	2	12	1	53
14	2	45	4	0	2	0	53
17	6	13	9	8	2	0	38

Los números de ítem se refieren al cuadro 2, y en la columna encabezada por "casos" figura en número de alumnos cuyas actuaciones se han estudiado.

Tabla XVIII.- Variaciones en detalle de los grupos A88 y B88 en lo que respecta a los ítems que aparecen en tres pruebas.

Ítem	Constancia		Con. asc.		Con. desc.		Con. fluc.		Casos
	Posit.	Neg.							
3	29	5	2	2	4	3	5	3	53
7	5	17	9	2	3	4	7	6	53
9	18	3	2	1	4	2	2	4	36

Los signos de la Tabla XVIII tienen el mismo significado que los de la Tabla XVII

En la segunda fila de la Tabla XVIII se han utilizado unos símbolos que tienen el siguiente significado: los tres puntos, y su orden de izquierda a derecha, representan las tres actuaciones por orden temporal; si el punto está arriba, la respuesta está incluida en el grupo superior y si está abajo, en el inferior. Se distinguen seis pautas: dos de conocimiento ascendente (\nearrow , \searrow), dos de conocimiento descendente (\nwarrow , \swarrow), y dos de conocimiento fluctuante (\wedge , \vee).

(ii) Claves de interpretación ofrecidas por la investigación pertinente. Las investigaciones sobre el aprendizaje han estudiado dos fenómenos a los que está muy ligado el problema que nos preocupa aquí: uno es la relación entre aprendizaje no significativo y olvido; otro es la necesidad de conflicto intelectual para que cambien los conceptos. El primero puede utilizarse para explicar los retrocesos; el segundo para explicar las constancias y avances.

"A no ser que el material aprendido de memoria se vuelva a estudiar repetidamente para obtener un sobreaprendizaje ... no sería posible recordarlo varias horas o días después de haber tenido lugar el aprendizaje. La información que se aprende significativamente

(relacionada con los inclusores de la estructura cognitiva) se puede recordar, generalmente, durante semanas o meses después de su adquisición" (Novak, 1982, pg. 81). Más adelante, el mismo autor añade: "Algunos estudios (...) indican que la mayor parte de la información aprendida de memoria en los colegios y escuelas se pierde en el plazo de seis a ocho semanas. Debido a esto, los estudiantes se dan cuenta de que han olvidado mucha de la información que se les dio al principio... Se ven entonces forzados a revisar y a volver a estudiar de modo significativo el material inicial, darse atracones de horas de estudio para sobreaprenderlo, o abandonar la esperanza de aprobar la asignatura" (Novak, 1982, pg. 82). Para precisar lo que entiende Novak por "aprendizaje memorístico" téngase en cuenta lo que dice en el libro citado unas páginas antes: "Memorístico --> significativo forman un continuo y no una dicotomía... En nuestra opinión, se debería conservar la idea de aprendizaje memorístico, pero aplicarla sólo a aquellas situaciones de aprendizaje en que la adquisición de una información tiene lugar relacionándola con elementos relativamente poco importantes de la estructura cognitiva" (l.c., pg. 77). En resumen: así como el aprendizaje memorístico va acompañado de pérdida, a corto plazo, de la información adquirida, el aprendizaje significativo garantiza la permanencia.

Las afirmaciones anteriores concernientes a la distinta capacidad de permanencia que tiene el conocimiento, según

haya sido aprendido significativa o memorísticamente, pueden aplicarse a lo que hemos llamado retrocesos y constancias, aunque el razonamiento lleva a conclusiones lógicas de distinto valor, según se trate de los primeros o de las segundas. Formalmente: sea AS = aprendizaje significativo; sea P = permanencia de la información adquirida. Las investigaciones indican que el aprendizaje significativo es condición suficiente para la permanencia. Simbólicamente:

$$AS \text{ -----} \rightarrow P \quad (1)$$

Esto equivale lógicamente a:

$$\bar{P} \text{ -----} \rightarrow \bar{AS} \quad (2)$$

Sin embargo, de (1) no puede deducirse

$$P \text{ -----} \rightarrow AS \quad (3)$$

La expresión (3) podría deducirse de (1) si ésta fuera una equivalencia lógica; pero las investigaciones no prueban que el aprendizaje significativo sea condición necesaria para la permanencia.

Aplicando esto al caso que nos ocupa: la pérdida rápida de conocimientos, tal como aparece en los casos de retroceso, cuando un alumno ha olvidado o define mal un concepto que definía bien unas semanas antes, son pruebas de que el alumno no aprendió significativamente el concepto. Sin embargo, el hecho de que el alumno conserve la información -constancia- no es prueba de aprendizaje

significativo; la constancia puede ser producida también, por ejemplo, por el sobreaprendizaje memorístico. (Las reflexiones anteriores pueden considerarse como una primera aproximación, en la que se ha prescindido de condicionantes, como, por ejemplo, factores emotivos y afectivos, vinculados también con el fenómeno del olvido).

La literatura sobre aprendizaje habla de la necesidad de conflicto intelectual para desechar concepciones erróneas. En los casos en que se da lo que se llamó "constancias negativas" (pg. 230), hay dos modalidades: una es la del alumno que no contesta en ninguna de las ocasiones en que aparece el ítem -desconocimiento continuado-; otra es la del alumno que ofrece la misma visión errónea siempre que aparece el ítem -persistencia del error conceptual-. El desconocimiento continuado puede tener su origen en varios condicionantes, entre los que se cuenta, por ejemplo, el que el alumno nunca intentó seriamente aprender dicho concepto, o que lo aprendió memorísticamente y, en consecuencia, lo ha olvidado pronto. El caso que interesa aquí, y el que se va a tratar con más detenimiento, es el de la persistencia de un concepto erróneo.

La teoría de la asimilación, de Piaget, avalada en sus elementos esenciales por un amplio cuerpo de apoyo empírico, viene a decir, precisamente, que el sujeto utiliza de forma consistente los esquemas asimilativos que posee y que esos esquemas sólo se corrigen cuando aparecen nuevos elementos

que no encajan en ellos. Utilizando palabras del mismo Piaget (1978) "el proceso general que se encontraría sin excepción se iniciaría en cada caso con el ejercicio de un esquema inicial de asimilación, cuya activación se encontraría tarde o temprano dificultada por perturbaciones: las compensaciones que resultarían de esto se traducirían entonces en una nueva construcción en la cual las regulaciones que caracterizarían a sus fases serían a la vez compensadoras, con respecto a la perturbación (implicando de este modo la formación al menos virtual de negaciones), y formadoras en relación con la construcción, hasta la constitución de una nueva estructura de equilibrio y el desarrollo posterior de procesos análogos" (l.c., pg.88).



Siegler (1983) aborda el problema desde la perspectiva de que, gran parte del conocimiento que tienen los niños (en su estudio incluye también a adolescentes) puede caracterizarse como un conjunto de reglas para resolver problemas. Sus experimentos sugieren cómo los sujetos tienen unas reglas determinadas, que usan de forma consistente, y que no son cambiadas por ellos, a no ser que las predicciones sobre un fenómeno (efectuadas de acuerdo con esas reglas) entren en conflicto con el fenómeno observado. Entre las conclusiones de Siegler están éstas: "Los procedimientos de instrucción no son eficaces o ineficaces en términos absolutos. Su eficacia es más bien el resultado de cómo interactúan con el que aprende... Lo que tienen de razonable las reglas de los niños pone de relieve la

importancia de diseñar procedimientos didácticos preparados específicamente para hacer que esas reglas fallen" (l.c., pp. 634-635).

Solís Villa (1984) ofrece una visión sistemática para el caso en que el error esté fundamentado en ideas intuitivas, previas al tratamiento científico.

Si se desea que un alumno cambie un concepto, es preciso que éste se convenza antes de la inadecuación de ese concepto; es preciso que se den conflictos entre los esquemas que posee y sus nuevas experiencias. Carrascosa et al. (1985) abordan esto desde la perspectiva que ellos llaman «metodología de la superficialidad», "que lleva a respuestas seguras y rápidas, que son consecuencia de generalizaciones acríticas de observaciones cualitativas" (l.c. pg. 114). Estos autores afirman que "no es posible producir un cambio conceptual en los alumnos sin provocar a su vez un cambio metodológico" (l.c. pg. 113) y aducen datos experimentales que sugieren la escasa efectividad de la corrección verbal del profesor para modificar los errores conceptuales.

(iii) Una advertencia sobre estudios de esta índole. Es preciso hacer una advertencia sobre la provisionalidad que pueden tener las conclusiones, en estudios sobre el tema que se está comentando. Esta provisionalidad es la limitación impuesta por un hecho que revelan los datos, sin lugar a dudas: la fluctuación en el estado de competencia de los

sujetos, tal como puede observarse con toda claridad en el caso de los ítems que aparecen en tres ocasiones. Los casos representados por el símbolo  (pg. 233) corresponden a alumnos que en dos pruebas consecutivas han respondido correctamente y que, sin embargo, responden mal en la tercera. Si hubiera habido solamente dos pruebas, se les hubiera considerado como alumnos en los que el concepto que definen está consolidado; sin embargo, no es éste su caso. Los sujetos con estas características suponen el 8% para el ítem 3, el 6% para el ítem 7 y el 11% para el ítem 9. (Los porcentajes están referidos al total de 53 alumnos que se consideran en los ítems 3 y 7 o al total de los 38 para el ítem 9). Considérense ahora los casos representados por el símbolo . Si a estos alumnos no se les hubiera pasado una tercera prueba, se habría considerado que experimentaban un avance total, porque su última actuación corresponde al grupo de las respuestas que son correctas; sin embargo, los alumnos no han fijado bien su conocimiento y, de hecho, se registran retrocesos. Los porcentajes respectivos (sobre la base indicada unas líneas antes) son 9%, 13% y 16% para los ítems 3, 7 y 9. Tomando conjuntamente en consideración los dos fenómenos que acaban de ser descritos, resulta que, de haber existido solamente dos pruebas, hubieran sido clasificados incorrectamente 17%, 19% y 17% de los sujetos, según se tratara respectivamente de los ítems 3, 7 o 9. Aun sin tener en cuenta más refinamientos en la interpretación de los datos, se han puesto de manifiesto unos márgenes de

error suficientemente grandes como para justificar la advertencia de provisionalidad. Los fenómenos de que se viene hablando sugieren también las precauciones con que hay que tratar estudios del tipo del que aquí se realiza, cuando se basan exclusivamente en tomas transversales de datos. Sólo cuando los datos se obtienen de forma longitudinal, diacrónica, a lo largo de intervalos de tiempo de varios meses, y con un seguimiento adecuado de los sujetos, pueden ser detectados los vaivenes y fluctuaciones que aquellos experimentan a lo largo del tiempo.

En lo que respecta a nuestro caso concreto, las fluctuaciones revelan que los sujetos, con toda verosimilitud, no habían realizado un aprendizaje significativo propiamente dicho. El repaso reciente de su libro de texto o de sus apuntes, cuando llegaba la prueba de evaluación, podría haber sido la causa de su aparente mejoría.

3.3.3.1. Diferencias entre los distintos ítems

Si se presta atención a la Tabla XIII (pg. 201) puede verse que el porcentaje de respuestas correctas varía de un ítem a otro. La figura 9 (página siguiente) representa en abscisas el porcentaje de respuestas correctas, dadas por los alumnos, cuando tienen que definir un término o expresión. Si éstos aparecen en más de una prueba, se tiene

en cuenta solamente la primera actuación. En ordenadas se representa el número de ítems para los que se da ese porcentaje. La inspección de la figura 9 sugiere una clasificación tripartita: un bloque de ítems -3, en concreto- que al parecer son conocidos por más de dos tercios de los alumnos; otro bloque de 13 ítems que conocen, aproximadamente, entre la mitad y los dos tercios de los alumnos; un último bloque de ítems que son conocidos por un tercio de los alumnos o menos. Espontáneamente surge una pregunta: ¿a qué se debe esa diferencia entre unos ítems y otros? ¿Por qué, al parecer, se aprenden mejor unas cosas que otras?

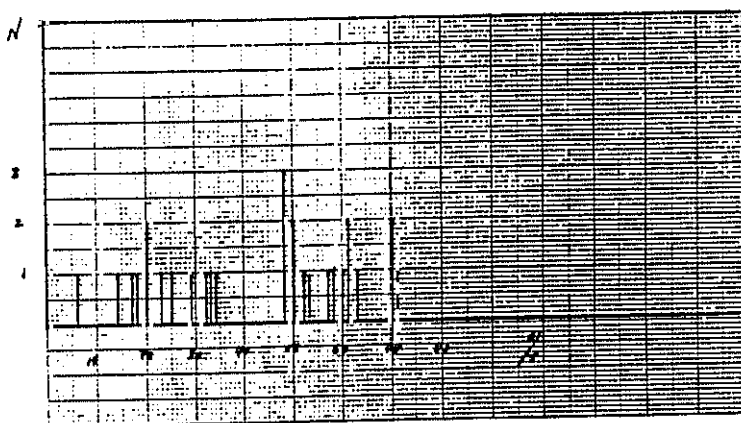


Fig. 9.-
Frecuencia de respuestas correctas

Al ser el aprendizaje un fenómeno muy complejo, condicionado, al menos, por el sujeto, por el material que se aprende y por el proceso mismo en el que se aprende, cualquier teoría que intente explicar la totalidad del aprendizaje ha de ser necesariamente de una complejidad extraordinaria. Piénsese que cada uno de los tres factores mencionados puede ser abordado desde varios puntos de vista. Así, por ejemplo, en el sujeto pueden considerarse aspectos evolutivos -etapa en que se encuentra-, características de su estructura cognitiva en un momento dado -con una referencia muy particular a los errores conceptuales-, motivación o interés que suscita en él lo que constituye objeto de aprendizaje, etc. etc. Ante una situación así es preciso delimitar y acotar el campo.

En algunos trabajos de investigación, realizados en España, se aborda la explicación de las diferencias en el grado de conocimiento de los distintos ítems a partir del nivel evolutivo de los alumnos. Así, por ejemplo, López Rupérez et al. (1988) exploran las relaciones existentes entre el conocimiento, por parte de los alumnos, de unos ítems determinados (manifestado en sus respuestas a una prueba de Física) y su nivel evolutivo (deducido a partir de la actuación de los sujetos en otras pruebas, diseñadas dentro de la tradición piagetiana). Esta línea es interesante, cuando se trata de sujetos incluidos en el

intervalo de edades que se contemplan en el estudio mencionado (un intervalo en el que caben de ordinario varios niveles de desarrollo evolutivo).

Los sujetos estudiados en el presente trabajo tenían alrededor de 18 años, una edad en que las diferencias en el nivel evolutivo, si es que se admiten como factor explicativo, tienen menos importancia. Esta afirmación requiere ciertas explicaciones. Hablando de la lógica de la conservación, Serpell (1976) escribe: "Un número de estudios de grupos culturales no occidentales han encontrado sólo una minoría de adolescentes que ofrecen evidencia de conservación y Dasen cita estudios sobre adultos analfabetos en Australia, Brasil... y Sicilia en los que aparecen muchos individuos que no manifiestan la conservación de uno o más conceptos" (l.c., pg. 72). Dibar Ure et al. (1884) encuentran que algo más de un tercio de estudiantes brasileños - en un intervalo de edad entre los 18 y los 23 años, al menos- no están en la etapa de las operaciones formales. Estos autores (l.c., pg. 191) citan un estudio de Shirkos y Laroche según el cual estarían en la etapa formal sólo 46% de un grupo de adultos franceses, de una media de 23 años de edad, que habían abandonado la secundaria a los 14 años. Es obvio, y de esto se deduce, que hay adultos que no utilizan las operaciones formales. Pero cabe preguntarse ¿se explica esto por la ontogenia, o hay que acudir a otros factores, tales como el mismo proceso instruccional que ha seguido el individuo? En nuestro caso se ha explorado un camino

distinto al de la psicología evolutiva, al tratar de comprender las diferencias detectadas en el grado de conocimiento de que gozan los distintos items. La exploración se llevó a cabo a través de tres procedimientos: observar cómo los alumnos razonaban para justificar los propios errores, comparar las pautas de error repetidas y comparar items con estructura cognitiva similar, pero con distinto grado de éxito en las pruebas.

No se ha podido encontrar un único factor que explique todas las diferencias en la Tabla de items; y este hecho no debe parecer extraño dada la diversidad de factores que intervienen en el aprendizaje. Sin embargo, han podido identificarse tres problemas concretos que dificultan el aprendizaje. Estos son: problemas de codificación en palabras relacionadas con el espacio, problemas relacionados con la interpretación de algunas gráficas y dificultades al generalizar conceptos concretos. A continuación se aclara y se expone con más detalle la naturaleza de estos problemas.

(i) Por lo común, los sujetos estudiados parecen encontrar más dificultades de lo que pudiera pensarse en la representación espacial y en el tratamiento de las dimensiones espaciales. Esto se verá con más detenimiento posteriormente. Ahora se van a considerar los problemas de codificación y descodificación (asociación de significado y signos verbales) de las palabras "transversal", "longitudinal", "eje X", "eje Y", "vertical", "horizontal".

Una primera constatación: hay alumnos que tienden a identificar el eje X con la dirección horizontal y el eje Y con la vertical; esto acontece a pesar de que esos mismos alumnos han resuelto problemas de planos inclinados en que los ejes aparecen en posiciones distintas a la vertical y a la horizontal. Cuando se les advierte que han cometido un error, los alumnos corrigen su postura, pero tienen cierta tendencia a volver a la interpretación errónea. Hay también alumnos que, al aplicar las nociones trigonométricas, utilizan sistemáticamente el coseno para obtener las componentes horizontales de un vector y el seno para obtener las verticales, independientemente de la posición que pueda tener el ángulo cuyo seno y coseno se considera; en otras palabras, esos alumnos, al utilizar las relaciones seno y coseno, referidas a los ángulos de un triángulo rectángulo, no toman en consideración el que se trate de cateto opuesto o de cateto contiguo, sino el que se trate de cateto en posición vertical o en posición horizontal.

Los hechos mencionados están bien constatados. No se cuantifica el porcentaje de sujetos con estos problemas, porque las cuestiones pertinentes no se han extendido a todos los alumnos, sino que han surgido en las entrevistas con algunos de ellos; en todo caso, se trata de pautas que afectan a varios sujetos. No se ha profundizado más en el porqué de la existencia de tales pautas porque eso va más allá del objetivo del presente trabajo. Sin embargo, se ha pensado que pudiera influir en la existencia de tales pautas

el hecho de que casi siempre en las explicaciones, problemas de clase, etc., se toman los ejes coordenados X e Y coincidiendo con la horizontal y vertical, respectivamente, y el hecho de que, en la gran mayoría de los ejemplos de trigonometría, el cateto opuesto coincide con la vertical.

Una segunda constatación: para varios alumnos, las palabras "transversal" y "longitudinal" tienen cierto valor absoluto, independiente de la posición del objeto a que se aplican. Más aún, a veces "transversal" se identifica como "vertical" y "longitudinal" como "horizontal". Estos problemas se han puesto de manifiesto al tratar las ondas longitudinales y la deformación por cizalladura. Para varios alumnos, la onda es longitudinal cuando las partículas del medio se mueven paralelamente a la horizontal, y es transversal cuando lo hacen paralelamente a la vertical (o longitudinal cuando el movimiento de las partículas es paralelo al eje X y transversal cuando lo es al eje Y). Es significativa, a este respecto, la perplejidad de uno de los sujetos, cuando se le indicó que indicara la forma en que se moverían las partículas del medio, en el caso de una onda transversal que avanzara a lo largo de la bisectriz del primer cuadrante. Después de la perplejidad inicial cayó en la cuenta de su error de codificación. Otros alumnos representaron la onda transversal por una gráfica sinusoidal, cuyos máximos y mínimos equidistaban del eje X, y la onda longitudinal por otra gráfica sinusoidal, cuyos

valores máximos y mínimos de abscisas equidistaban del eje Y.

La mala codificación de "transversal" y "longitudinal" se pudo observar también al aplicar a los muelles el concepto de deformación por cizalladura. La deformación de un muelle en posición vertical y en cuyo extremo inferior se suspende una masa suficientemente grande, es una deformación por cizalladura; la fuerza puede considerarse paralela a la sección transversal del alambre. Muchos alumnos, al preguntárseles si se trataba de una deformación producida por tensión normal o de una deformación por cizalladura, no supieron qué contestar; otros afirmaron que se trataba de una tensión normal, porque el muelle se alargaba; asociaron elongación (contracción) a tensión normal, por una relación que tenía en cuenta la sección transversal del sistema formado por el muelle, pero no la sección transversal del alambre constituyente de dicho muelle.

Si se tienen en cuenta los problemas de codificación que acaban de ser mencionados, se explican, al menos en parte, los malos resultados obtenidos al definir la onda longitudinal (6% de aciertos), el módulo de cizalladura (17%) y la deformación unitaria por cizalladura (el 25%).

(ii) Las gráficas son, sin duda, un instrumento didáctico muy valioso y no sólo una forma condensada de expresión. La longitud de onda, por ejemplo, fue captada rápidamente por los alumnos a partir de una gráfica; muchos

de ellos suelen definir gráficamente esta magnitud. Sin embargo, no puede darse por supuesto que los alumnos interpreten correctamente todas las gráficas. Las observaciones realizadas, a propósito del estudio del movimiento ondulatorio, ponen en guardia contra ese supuesto.

Es frecuente encontrar, en los libros de texto, dos tipos de gráficas sinusoidales relacionadas con el movimiento ondulatorio. En ambos se utiliza el eje Y para representar el valor de la perturbación, pero mientras en uno se utiliza el eje X para una dimensión espacial (la gráfica, se dice a veces, sería como una "fotografía instantánea" del perfil de una onda que se propaga a lo largo del eje X), en el otro, el eje X se utiliza para los tiempos (se representa la variación del valor de la perturbación en un punto con el transcurso del tiempo). Son varios los alumnos que encuentran dificultades en la interpretación de las gráficas de estos tipos, y que tienden a considerar las "instantáneas" como una figura constante a lo largo del tiempo, de suerte que el "perfil", según su concepción, no se trasladaría con el transcurrir del tiempo. Otros no llegaron a captar con facilidad que las dos gráficas constituyen aspectos distintos del movimiento ondulatorio. Por otra parte, hay alumnos que tienen problemas al interpretar gráficas correspondientes a ondas estacionarias y quedan muy sorprendidos al decirseles que la "figura" representada no cambia con el tiempo.

Otra dificultad es la que se da en la interpretación de gráficas que describen el desplazamiento de un móvil sometido exclusivamente a la fuerza de la gravedad. Valga para ilustrarlo esta observación: se les dijo a los alumnos que consideraran el caso de una esfera disparada por un muelle comprimido situado en posición vertical en la parte baja de un tubo también en posición vertical (simulación de un mortero). Se les pidió que contestaran rápidamente indicando el tipo de curva correspondiente a la trayectoria que describiría el móvil. Varios contestaron que la trayectoria sería una parábola. Pudiera pensarse que la equivocación se debía a que el símil del mortero les llevaba a pensar en el movimiento parabólico de los proyectiles, estudiado anteriormente. Sin embargo, la justificación de sus respuestas no dejó lugar a dudas: el movimiento debería ser parabólico, según algunos alumnos, porque la posición de la esfera es función cuadrática del tiempo, y eso da lugar a una parábola. Sencillamente, habían imaginado una gráfica como representación de una función matemática, pero olvidando el significado de la magnitud representada en el eje X. Por supuesto, estos alumnos, cuando se les hace reflexionar, caen en la cuenta de su error, pero esto no disminuye la importancia del problema. La codificación y descodificación no se producen con la suficiente rapidez y corrección necesarias para que la comunicación sea fluida y dé buenos rendimientos.

Resumiendo: las gráficas ofrecen información codificada; para obtener las claves de codificación y descodificación es preciso proceder a un análisis previo e identificar qué es lo que se representa y en función de qué. Un experto lo hace así de manera rutinaria y casi inconsciente. No se puede dar por supuesto, sin embargo, el que los alumnos de este nivel procedan de la misma forma; más bien cabe pensar que, cuando se les da una gráfica, la asocian a una situación o aspecto particular representables ciertamente por ese tipo de figura, pero no coincidentes, necesariamente, con los aspectos que se pretenden representar.

(iii) Llama la atención el comprobar que la diferencia de potencial gravitatorio es bien definida por el 60% de los sujetos, mientras que la diferencia de potencial eléctrico lo es sólo por el 29%. El concepto adquirido en un contexto determinado (estudio de la gravedad) no se transfiere automáticamente a otro contexto (estudio de la electricidad). Algo parecido ocurre con el concepto de amplitud. El 52% de los alumnos lo define bien cuando se trata del movimiento armónico simple; sin embargo, sólo el 23% de los alumnos lo hacen bien al tratarse del movimiento ondulatorio.

Estos hechos pueden explicarse si se considera que la transferencia, y consiguiente generalización de un concepto, suponen un proceso de abstracción, y que los alumnos aquí

estudiados encuentran ciertas dificultades para abstraer. El fenómeno se pone bien de manifiesto en las pautas incorrectas, a las que anteriormente se llamó "particularizaciones" (definición de un término general por un caso particular al que puede aplicarse dicho término). Las particularizaciones suponen el 15% de las respuestas en el caso de la amplitud de un movimiento armónico simple, el 14% en el caso de la velocidad de propagación de onda, el 21% en el caso de la amplitud en un movimiento ondulatorio y el 25% en el caso de la oscilación. El aprendizaje relacionado con los temas mencionados estaba apoyado por frecuentes percepciones con base visual, bien porque los alumnos habían percibido el fenómeno en su trabajo de laboratorio, bien porque habían manejado fotografías y dibujos. Las particularizaciones -que, en el caso de la oscilación, alcanzan a la cuarta parte del total de sujetos- hacen pensar que el término correspondiente quedó vinculado a la percepción de lo concreto, sin que los sujetos llegaran a prescindir de los aspectos más particulares del fenómeno. Los datos permiten afirmar, con fundamento, que no es prudente dar por supuesto el que los alumnos abstraen, por más que el profesor, en sus explicaciones y aclaraciones, utilice los términos en el nivel de abstracción típico de la Física.

3.3.4. Apéndice: La utilización de las Matemáticas

Piaget (1975 b), al comienzo de su reflexión sobre el pensamiento físico, afirma: "desde el primer contacto con la epistemología física nos encontramos, pues, en presencia de la dificultad sumamente instructiva de delimitar los campos entre la física y la matemática: o reducimos los dos a uno solo, o nos empeñamos en distinguirlos, pero sin alcanzar una frontera estática. De hecho todos aceptan la necesidad de experimentación en física y la inutilidad del laboratorio para la matemática...; pero se necesita invocar un límite móvil cuando se busca caracterizar la diferencia entre la experiencia física y la construcción matemática" (l.c., pg. 9). Más adelante añade: el pensamiento físico "es, como la matemática, una asimilación de lo real a los esquemas operatorios; entre éstos, los más generales dan lugar a construcciones deductivas valederas (además de su acuerdo con la experiencia, por su coherencia intrínseca). Por lo demás, esa forma de conocimiento se enfrenta con realidades cada vez más complejas y, por lo tanto, más difícilmente asimilables; se produce por ende una inversión gradual de la situación a expensas de la deducción y en provecho de la experiencia" (ib. pg. 12).

Matemáticas y Física están profundamente entretrejidas en la comunidad de los físicos. Estos utilizan las Matemáticas como instrumento privilegiado de expresión y razonamiento. Pero las Matemáticas son mucho más: su

estructura desarrollada ofrece al físico amplias posibilidades de utilizar modelos conceptuales, que le serán muy útiles para dar coherencia y sistematicidad a los resultados del trabajo experimental, y para abrir nuevos caminos de exploración y comprobación.

No parece que pueda dudarse de la necesidad de unos conocimientos mínimos en Matemáticas para empezar a estudiar, con provecho, incluso los rudimentos de la Física. Roper (1989), hablando de alumnos de estudios secundarios, comenta con cierta ironía: "la Física se percibe como muy difícil, muy matemática y, por lo general, hostil al estudiante medio. Durante mucho tiempo los profesores de Física se vieron forzados a vivir con estos problemas. Momentáneamente reaccionamos desarrollando cursos «estándar» y «básicos» y reduciendo el nivel y el papel de las Matemáticas hasta el punto de que la Física llegó a ser más difícil de entender" (l.c. pg. 26). No parece exagerado afirmar que, para que un alumno entienda bien la Física, es preciso que haya entendido antes algunas partes de las Matemáticas.

Con estas consideraciones en mente, se pensó que un estudio sobre los problemas de aprendizaje de la Física, no debía soslayar los problemas que los alumnos pudieran encontrar en el campo de las Matemáticas. Se prestó, pues, atención al conocimiento de aquellos procesos más relacionados con los temas de Física estudiados. Se ha

intentado identificar las deficiencias que contribuyen a hacer problemático el aprendizaje de la Física; el trabajo ha ido encaminado a detectar, y a poner de relieve, esas deficiencias. De este modo se ha intentado agregar un complemento al estudio de los problemas de terminología.

3.3.4.0. Limitaciones a la generalización

La forma en que se han realizado las observaciones pertinentes no permite, en muchos casos, introducir relaciones porcentuales. En efecto, las deficiencias matemáticas se han detectado fundamentalmente en cuatro tipos de situaciones: explicaciones efectuadas en el aula en un ambiente en que se estimula la intervención de los alumnos; observaciones de los distintos equipos mientras trabajaban en la resolución de problemas; conversaciones con alumnos, generalmente para aclarar las dudas que presentaban; análisis de los exámenes escritos.

Cuando en el curso de la explicación en el aula se ponía de manifiesto la existencia de una dificultad de tipo matemático, se pedía a los alumnos, que tuvieran esa dificultad, levantar la mano. Pudiera pensarse que este procedimiento permite establecer una formulación cuantitativa del grado de generalización de la mencionada dificultad; sin embargo, la realidad es distinta. En primer lugar, porque se ha podido comprobar que hay alumnos que

creen sinceramente saber una cosa cuando, en realidad no la saben. En segundo lugar, porque no todos los alumnos se expresan con la misma espontaneidad cuando se trata de manifestar sus propias deficiencias: había alumnos que no levantaban la mano hasta que no lo había hecho un número considerable de sus compañeros.

Cuando se detecta una dificultad matemática mientras se observa el trabajo de un equipo, tampoco es fácil efectuar algún tipo de medida orientadora del grado de generalización de esa dificultad, porque cada equipo tiene un ritmo de trabajo distinto y no es conveniente alterarlo de manera frecuente. Cada equipo, además, puede seguir su propio camino, aunque tenga intercambios con otros equipos o con el profesor y sucede, a veces, que equipos diferentes intentan resolver los problemas por caminos diferentes, por lo cual no se encuentran con el mismo tipo de dificultades matemáticas. Si a un equipo que está realizando una tarea, se le pregunta algo desconectado con su trabajo actual, se corre el riesgo de que el equipo se desoriente y experimente un retroceso en el camino recorrido. Esto, obviamente, no es recomendable y, mucho menos, si se hace de forma habitual. Por eso, se ha renunciado, prácticamente, a la posibilidad de cuantificar siempre este tipo de situaciones.

Cuando un alumno pide aclaraciones o pregunta al profesor sobre un tema determinado, se abre una oportunidad excelente para intercambiar información y detectar sus

problemas en Matemáticas; pero, en esas circunstancias, sólo se hace referencia a los relacionados con la aclaración pedida. El someter al alumno a preguntas que van más allá de lo que se requiere para resolver sus dudas, pudiera disuadirle de su costumbre de pedir aclaraciones siempre que lo necesite. Cuando se ha presentado la oportunidad de dialogar con algún alumno, en las mencionadas circunstancias, se ha recogido la información que se generaba espontáneamente, pero sin indagar más.

Finalmente, no es superfluo advertir que, en los exámenes, el conocimiento (desconocimiento) de las Matemáticas aparece como un subproducto de lo que se busca primariamente: conocimiento de la Física. El que aparezca una deficiencia matemática determinada es algo coyuntural y depende, con frecuencia, de la pauta que siga el alumno al contestar a las cuestiones sobre Física.

Resumiendo: las deficiencias matemáticas, de las que se va a hablar a continuación, están bien comprobadas en el caso de algunos alumnos, aunque en muchos casos no se determina qué fracción del total suponen esos alumnos.

3.3.4.1. ~~Deficiencias matemáticas detectadas~~

El criterio adoptado para registrar las deficiencias matemáticas ha sido el siguiente: no se han considerado como deficiencias aquellas cosas que el alumno olvida por un

tiempo, pero que identifica bien cuando las ve, o recuerda cuando se le proporcionan orientaciones. Se entiende aquí por "deficiencia" lo que el alumno no conoce en absoluto, lo que ha aprendido mal, o lo que realiza de modo incorrecto en el trabajo rutinario. Con el fin de estructurar mejor esta sección, las deficiencias se han agrupado en cuatro clases: en el cálculo, en la codificación, en la aplicación y por ignorancia conceptual.

3.3.4.1.1. Deficiencias en el cálculo

Se incluyen en este apartado los errores cometidos por los alumnos al no aplicar bien las reglas de cálculo. Los campos en los que se dan con más frecuencia las incorrecciones son los siguientes:

(i) Cálculo de potencias. Hay alumnos que no utilizan bien las potencias de 10, cuando se emplea la notación científica o cuando se cambia de unas unidades a otras; también hay alumnos que no saben desarrollar bien los productos indicados por factores entre paréntesis, y elevados a una potencia del tipo $(A^x B^y C^z \dots)^N$. En algún examen se ha contabilizado este tipo de errores. En los casos considerados alcanza aproximadamente a un 10% de la población.

(ii) Incorrecciones al pasar términos desde un miembro de la ecuación al otro, o al expresar un término en función

de los otros términos que figuran junto con él en la misma igualdad (desigualdad) o ecuación. Algunas incorrecciones, como la utilización de signos inadecuados, pudieran considerarse como atribuibles a la inadvertencia; otras, como el tratar los factores de un monomio igual que si fueran sumandos, son más graves. En un examen de los grupos A88 y B88 se contabilizaron estos errores. La fracción de alumnos que incidió en ellos fue del orden del 22%.

(iii) Cálculo con vectores. Ya se apuntó en el apartado 3.3.3.3 (i), pp. 244 y ss., que los alumnos encontraban dificultades en la representación del espacio. La utilización de vectores, en un espacio tridimensional, les resulta difícil; pero incluso en el caso más simple de vectores en el plano, hay alumnos que encuentran problemas. En concreto, hay alumnos que no consiguen hallar bien la resultante de varios vectores por métodos gráficos, porque no sitúan los vectores de la manera adecuada. Esto es especialmente patente cuando tienen que representar, por ejemplo, la fuerza a que está sometida una carga puntual, atraída (repelida) por otras próximas a ella.

3.3.4.1.2. Deficiencias en la codificación

Bajo este epígrafe se incluyen los problemas que encuentran los alumnos al atribuir significado a un símbolo determinado o al descifrar el significado de los símbolos.

(i) El símbolo π . Hay alumnos que dan al símbolo π un significado distinto al que tiene; y esto de una manera sistemática. Para ellos, π no representa solamente un número determinado, 3.1415...; más bien, interpretan la presencia de π como indicador de que una medida determinada se expresa en radianes. Creen, además, que es preciso utilizar π para expresar cualquier medida efectuada en radianes.

(ii) Fijación de un símbolo a un contexto determinado. A veces un símbolo queda asociado a una situación concreta, de tal forma que pierde todo su valor significativo fuera de ella. Un ejemplo aclarará esto: la elongación o contracción que experimenta en su longitud un material elástico se representó por dos signos diferentes, " x " y " Δl ", en dos situaciones distintas. El módulo de Young se definió como

$$Y = (F/S)/(\Delta l/l)$$

siendo l la longitud del material y Δl la elongación. La ley de Hooke se expresó como $F = - kx$, siendo x la elongación. Posteriormente, se pidió a los alumnos que relacionaran el módulo de Young y la constante de la ley de Hooke. Algunos alumnos del curso 87/88 y muchos del curso 88/89 no lograron establecer correctamente la relación. Al analizar las causas del fracaso se pudo comprobar que éste era debido generalmente a que los alumnos no identificaban la x y la Δl que aparecían en las distintas expresiones.

(iii) Falta de creatividad para usar símbolos arbitrarios. En algunos casos se les ha presentado a los alumnos un ejercicio o problema de clase en el que faltaba un dato. Se pretendía que el dato que faltaba lo representaran por un símbolo cualquiera (una letra, por ejemplo) y expresaran el resultado en función de ese símbolo. La primera vez que apareció un ejercicio así, fueron muy pocos los alumnos que superaron tal dificultad; posteriormente, después de entrenamiento, disminuyó bastante el número de fracasos. Es posible que la falta de creatividad inicial fuera motivada por la expectativa, frecuente en los alumnos, de que cualquier problema de clase debe contener todos los datos que se necesitan para resolverlo y solamente éstos.

3.3.4.1.3. Deficiencias en la aplicación

Se consideran bajo este epígrafe las dificultades que encuentran los alumnos al seleccionar, en un caso determinado, las expresiones matemáticas que necesitan para resolver un problema o para describir una situación.

(i) Un primer grupo de casos lo forman la utilización incorrecta de las expresiones matemáticas para hallar el área y el volumen. Así, por ejemplo, un 20% de los alumnos, en un examen, emplean la fórmula del volumen para calcular la sección transversal de una banda que tiene forma de

paralelepípedo. Se ha comprobado también que algún alumno utiliza la fórmula del círculo para hallar el área de secciones transversales que no tienen forma circular; y que varios alumnos suman los valores de las tres dimensiones de un paralelepípedo recto (en vez de multiplicar los valores) para hallar el volumen del mismo.

(ii) Un segundo tipo de deficiencias en la aplicación se pone de manifiesto en la situación de perplejidad de los alumnos al no saber qué expresión matemática utilizar, aun cuando recuerdan, de hecho, varias expresiones. Un ejemplo de esto, mencionado anteriormente, es el de las vacilaciones de los alumnos sobre el uso del seno o del coseno para hallar las componentes ortogonales de un vector en el plano.

3.3.4.1.4. Ignorancia conceptual

Bajo este epígrafe se incluye la ignorancia de algunas fórmulas matemáticas útiles, o la falta de comprensión de algunos conceptos matemáticos empleados frecuentemente en Física.

(i) Entre los componentes del primer grupo se encuentran nociones de geometría y trigonometría necesarias para el razonamiento y la resolución de problemas. Ejemplos: el cálculo de la distancia entre dos puntos cuyas coordenadas se han dado previamente, la conversión de grados a radianes y viceversa, y las fórmulas trigonométricas

relativas al seno y coseno de la suma de dos ángulos o al producto de senos y cosenos. Las deficiencias mencionadas en los dos primeros ejemplos se han observado muy pocas veces; las otras se han observado con bastante frecuencia. Ciertamente, no es imprescindible la memorización de las fórmulas trigonométricas en cuestión; más aún, quizás no sea recomendable. Algunos libros de texto las incluyen en el decurso de las demostraciones que necesitan de ellas, y otros las sitúan en un apéndice al que remiten cuando es preciso. Sin embargo, el dominio de las expresiones que dan $\text{sen}(\alpha \pm \beta)$ y $\text{cos}(\alpha \pm \beta)$ es una habilidad instrumental casi necesaria, porque son muchas las veces en que hay que acudir a su utilización, bien por necesidades del caso, bien para construir o comprobar otras fórmulas. Este dominio, como ha podido comprobarse en varios casos, no se da en muchos alumnos.

(ii) Se ha hablado antes de falta de comprensión de algunos conceptos matemáticos que se emplean con frecuencia en el estudio de la Física: se trata fundamentalmente de la derivación y la integración. Se ha podido comprobar que alrededor de los dos tercios de los alumnos presentan deficiencias de este tipo. Sin embargo, hay que precisar esta afirmación. La deficiencia no afecta a los cálculos. Los alumnos, por lo general, calculan con bastante facilidad la derivada de una función dada; con menos facilidad, pero sin mayores problemas, calculan también las integrales que se necesitan en estos niveles rudimentarios de la Física. No

obstante, los mismos alumnos que calculan bien no saben en el fondo qué es derivar, qué es integrar y qué es una integral definida; no saben qué tipo de operación mental están haciendo, qué esquema intelectual están utilizando cuando derivan, integran o diferencian. Asocian estas operaciones a ciertos tipos de ejercicios numéricos (los problemas de clase) y dan la sensación de que comprenden la materia. Pero en muchos casos se trata solamente de intuiciones o de asociaciones de ideas que ha producido la práctica rutinaria. Por ejemplo, utilizan la integración en problemas estandarizados y no muy complejos para hallar diferencias de potencial en el campo gravitatorio de la Tierra cuando g -por las condiciones del problema- no puede tomarse como constante; sin embargo, si un problema es más complejo o difiere notablemente de los habitualmente resueltos, hay alumnos que prescinden de la integración y expresan las diferencias de energía potencial como " mgh ", en consonancia con lo que aprendieron en sus primeros contactos con la Física, aunque " g " no pueda considerarse como constante ni den el sistema de referencia en el que se expresa " h ". Algo parecido ocurre con la velocidad. La obtienen, en problemas ordinarios, derivando la función de posición o integrando a partir de la aceleración; sin embargo, cuando se encuentran con un problema más complejo, hay alumnos que vuelven a lo que fue, quizás, para ellos la primera "fórmula": $v = e/t$.

3.3.4.2. Contribución de las dificultades matemáticas a los problemas de aprendizaje

Las deficiencias matemáticas dificultan, por diferentes caminos, el aprendizaje de la Física. En concreto se van a considerar tres aspectos: resolución de ejercicios o problemas numéricos, exposición y comprensión de las teorías y comprensión de los conceptos.

3.3.4.2.1. Influencia en la resolución de ejercicios numéricos

Es obvio pensar que las deficiencias en Matemáticas afecten al rendimiento en la resolución de lo que generalmente se llaman "problemas", pero conviene distinguir varios casos.

(i) Hay ocasiones en que el alumno se queda estancado, en la resolución de un ejercicio numérico, porque le faltan los instrumentos matemáticos para seguir adelante. Ante eso, algunos alumnos dejan el problema por imposible y otros intentan salir del paso aplicando los conocimientos matemáticos de que disponen, con resultado negativo, en general. Tanto en un caso como en otro, se malogra la capacidad que pudiera tener el ejercicio numérico para hacer comprender mejor el concepto físico o para hacer ver los

resultados que se obtienen cuando se aplica una teoría determinada a una situación concreta.

(ii) Hay veces en que el alumno es capaz de aplicar bien un concepto físico, e intenta hacerlo; pero sus errores de cálculo le conducen a resultados equivocados. El alumno, entonces, al ver que su resultado no coincide con el resultado que, generalmente, acompaña al enunciado del problema -y que se supone correcto- revisa una y otra vez su trabajo, con el consiguiente consumo de tiempo y energías y, si no detecta a tiempo los errores matemáticos, corre el riesgo de pensar que es malo el tratamiento físico aplicado.

Una pequeña digresión a propósito del hecho de dar conjuntamente enunciados y solución de los problemas. A lo largo del curso académico se propusieron a los alumnos dos tipos de ejercicios numéricos: unos, para resolver en casa, en los que el enunciado iba siempre acompañado del resultado; otros, para resolver en clase, en los que se daba sólo el enunciado. El proporcionar a los alumnos, conjuntamente, enunciados y resultados, tenía como fin darles la oportunidad de establecer por sí mismos, en una primera comprobación, la calidad de su trabajo, de suerte que pudieran así autoevaluarse de algún modo y corregir las propias deficiencias en caso necesario. Los ejercicios para clase eran resueltos por los alumnos mientras trabajaban en grupo. En esas condiciones, los errores de un miembro del equipo podían ser detectados por los demás y, en todo caso,

si se veía, sobre la marcha, que los ejercicios eran especialmente difíciles, se explicaban en la pizarra para todos los alumnos. Pudiera parecer que los inconvenientes apuntados inmediatamente antes de la digresión se hubieran eliminado automáticamente suprimiendo la práctica de dar, junto con cada enunciado, la solución correspondiente. En este sentido Perales Palacios et al. (1984) afirman: "Aparentemente no hay razones de peso para aconsejar que se suministre la solución de los problemas cuando los alumnos están siendo evaluados, antes al contrario" (l.c., pg. 98). Sin embargo, como por una parte los autores mencionados se refieren a la situación de examen y, por otra, su trabajo tiene limitaciones experimentales que ellos mismos reconocen, no se ha tenido en cuenta la conclusión que se transcribe. Además, eliminar el riesgo para algunos alumnos, hubiera suprimido, para todos, la oportunidad de evaluarse sobre la marcha y de revisar el propio trabajo.

(iii) Incidentalmente, las deficiencias en Matemáticas crean problemas al profesor de Física cuando se ve obligado a calificar. ¿Se puede considerar aprobado en Física un examen en que el alumno parece comprender bien los conceptos y previsiblemente los hubiera aplicado bien en caso de disponer del instrumental matemático necesario, aunque el ejercicio tenga serias deficiencias debido a ese desconocimiento? Algunos alumnos plantean la cuestión con crudeza: "¿Por qué no me puntúa más aquí si he cogido bien la idea, y esto no es un examen de Matemáticas?"

3.3.4.2.2. Exposición y comprensión de las teorías

Bastantes secciones de los libros de texto de Física (Strube, 1989), los estilos de explicación a los que el alumno está más acostumbrado, y algunas preguntas de examen, se alinean más en una vía deductiva que en una inductiva.

Es frecuente que, para llegar a establecer una regularidad determinada, se proponga un razonamiento matemático por el que, a partir de unos principios generales y de regularidades ya establecidas, se llegue a la expresión matemática en la que se describe la regularidad que se desea poner de relieve. Esta forma de actuar puede discutirse desde el punto de vista pedagógico, pero parece ser un procedimineto bastante frecuente. En un proceso didáctico de estas características, las deficiencias matemáticas juegan un papel predominante y disminuyen el rendimiento del esfuerzo dedicado a la Física. Unas veces porque el alumno, mientras estudia, queda atrapado en expresiones matemáticas que no conoce o no sabe deducir y tiene que emplear bastante tiempo en encontrarles sentido o en deducirlas; otras, porque, al fracasar sus primeros intentos de comprender las deducciones matemáticas, se traslada al final del razonamiento, a la "fórmula", como él dice, e intenta memorizarla; otras porque, si en el transcurso de la explicación en clase, encuentra un paso matemático que no domina, se inquieta, pierde el hilo del razonamiento y no

aprovecha buena parte de lo que sigue; otras, en fin, porque, si interrumpe la explicación para pedir aclaraciones al profesor, perturba el ritmo y obliga a hacer digresiones que pueden ser inútiles para el resto de los compañeros.

3.3.4.2.3. Comprensión de conceptos físicos

Las deficiencias matemáticas se han considerado, en los párrafos anteriores, como obstáculos para el aprendizaje de la Física; pero obstáculos, en cierto modo, extrínsecos como puede ser la carencia del instrumental adecuado para ejercer una tarea. Hay, sin embargo, deficiencias matemáticas que constituyen un obstáculo intrínseco porque algunos conceptos físicos están tan configurados por ellas, que su comprensión y superación adecuadas son imprescindibles para un buen dominio de la Física. El concepto de velocidad instantánea, por ejemplo, es difícilmente comprensible para quien no tiene una idea clara de lo que es una derivada; y lo mismo puede decirse de muchos otros conceptos, tales como aceleración, potencia, intensidad de corriente, etc., referidos a un instante determinado. Los mismos enunciados en forma diferencial, tan frecuentes en algunas partes de la Física, pueden ser captados, ciertamente; pero nunca serán completamente bien entendidos por quien no tenga suficiente base en análisis matemático.

3.3.4.3. Posibles caminos de solución

En el trabajo de campo se han realizado algunos intentos para superar las deficiencias matemáticas detectadas. Hay que reconocer, sin embargo, que estos intentos han tenido poco éxito.

(i) Se pensó en simultanear aprendizaje de Matemáticas y Física en aquellos puntos que están más relacionados. De hecho, hay profesores y libros de texto que introducen cuestiones de naturaleza matemática en el desarrollo expositivo del cuerpo conceptual de la Física, aunque esta práctica no parece corresponder a una pauta consistente. Por ejemplo, es frecuente encontrar, en los libros de texto de Física, un capítulo inicial dedicado al cálculo vectorial, y no es raro tampoco el que los profesores de Física dediquen algún tiempo de su asignatura a estudiar este capítulo. Sin embargo, es raro encontrar, en textos de Física, un capítulo dedicado a derivación o a integración, bien en la parte introductoria, bien intercalado en el cuerpo del texto. A veces se recogen en un apéndice cuestiones relacionadas con estos temas.

En el curso 88/89 se dedicaron varias clases de Física a estudiar cuestiones matemáticas. Esto se hizo, no tanto por el deseo de explorar un nuevo capítulo pedagógico, cuanto por la necesidad de aclarar y afianzar algunos conceptos matemáticos imprescindibles para el desarrollo del programa de Física que se estaba llevando a cabo. La

experiencia no resultó mal por lo que respecta a los alumnos. La recibieron con agrado e incluso algunos llegaron a afirmar que habían podido comprender mejor los conceptos matemáticos al estudiarlos en el contexto de la Física. Sin embargo, la experiencia fue extremadamente corta, porque su prolongación hubiera resultado incompatible con las demandas de tiempo que imponía el programa oficial de Física, demasiado recargado ya por sí mismo. Hubiera sido, quizás, posible llegar a un acuerdo de ajuste horario con el seminario de Matemáticas, pero, vistas las dificultades que presentaba, sobre todo las de índole burocrática y laboral, no se intentó siquiera. Uno de los obstáculos para experiencias de este tipo es precisamente la asignación horaria que hace la Administración Pública para cada asignatura, y otra el horario que debe cumplir cada profesor.

(ii) Se intentó también coordinar temporalmente el desarrollo de los proyectos didácticos de Física y Matemáticas. En principio pudiera parecer ésta la solución más adecuada. De hecho, en la planificación general del bachillerato experimental se intenta esa coordinación incluyendo temas de análisis y de cálculo vectorial en el programa de Matemáticas del primer año. También en el bachillerato normal hay temas de este tipo en el curso 3º de BUP. Sin embargo, la solución no es satisfactoria, porque los alumnos, aunque consigan cierta facilidad en el cálculo, no llegan al dominio conceptual que sería de desear. De suyo,

la solución a que nos estamos refiriendo, presenta dificultades tanto teóricas como prácticas, porque no existe una correspondencia biunívoca entre los temas de Física y los de Matemáticas. La mayoría de los temas de Física incluidos en el programa del último curso de EE. MM., necesitan casi todos los conceptos matemáticos que se requieren para desarrollar convenientemente el programa de Física. Hay también dificultades prácticas porque algunos profesores de Matemáticas -y ha habido experiencia de lo que se afirma a continuación- pueden considerar su asignatura como autónoma, con razón de ser en sí misma y con derecho a organizarse con criterios propios de la disciplina y no como un mero instrumento para la mejor comprensión de la Física.

(iii) No se ha experimentado la adaptación del temario de Física a la competencia matemática de los alumnos, aunque quizás pudiera ser la mejor solución. La adaptación no se ensayó por la exigencia de desarrollar el temario oficial y de preparar a los alumnos para el examen de selectividad. De hecho, la adaptación no podrá experimentarse mientras no esté avalada por un acuerdo de la Administración educativa y de la Universidad. Lo contrario podría acarrear riesgos y perjuicios irreparables, tanto a alumnos como a profesores.

3.4. RESOLUCION DE PROBLEMAS

3.4.0. Marco de referencia

Eylon y Linn (1988), en su amplia revisión de la investigación realizada recientemente en el campo de la didáctica de las ciencias, ponen de relieve la importancia de una perspectiva investigadora centrada en la resolución de problemas. "La resolución de problemas en un dominio como el de la física tiene la ventaja de poseer rasgos del «mundo real» y de estar asociado tanto a un dominio de conocimiento bien estructurado (principios de la física) como a unos procedimientos bien definidos para la resolución de problemas... Estos rasgos atractivos han llevado a un esfuerzo acumulativo, sistemático, de investigación en la resolución de problemas de matemáticas y física" (l.c. pg. 273).

Antes de presentar la información recogida en el trabajo de campo y de discutirla, se intentará delinear un marco de referencia, con la intención de precisar bien los términos.

3.4.0.1. Problemas y resolución de problemas.

Garret (1989), en su preocupación por fomentar la creatividad de los alumnos, critica severamente algunas

atividades relacionadas con la resolución de problemas: "La mayoría de lo que pasa por «problemas» en las clases de ciencias no es más que una serie de ejercicios estériles y restringidos o puzzles que requieren soluciones o, en el mejor de los casos, resoluciones. Los problemas genuinos - situaciones abiertas, perplejidades - solamente pueden ser entendidos; el término «solución» es inapropiado" (l.c. pg. 128). Garret (1988), en otro lugar, distingue varios tipos de problemas: "Problemas cerrados son aquellas situaciones que tienen bien sólo una respuesta o más de una, pero igualmente correctas. El resolvente generalmente sabe cuándo ha llegado a una respuesta... Hay por otro lado situaciones para las que puede haber varias respuestas de las que ninguna de ellas sea correcta o equivocada en términos absolutos, sino simplemente la más adecuada para un conjunto de circunstancias... Las dos situaciones anteriores tienen cierta similitud. Se pueden solucionar potencialmente dentro de un paradigma dado o resolverse dando información suficiente... Hay otro tipo de situaciones enigmáticas, no obstante, que no son ni solucionables ni resolubles; son solamente comprensibles. A este tipo los he llamado «problemas verdaderos». Ellos requieren que el resolvente salga de los paradigmas existentes, los reaplique, los reinterprete o, en último término, que produzca un paradigma totalmente nuevo" (l.c. pg. 226-227)

Si se utiliza esta clasificación de Garret como esquema de referencia, hay que decir que el material, del que se va

a hablar a continuación, está incluido en la categoría de problemas cerrados del primer tipo: se trata de ejercicios que admiten una única respuesta aunque, en algunos pocos casos, pueda haber más de una respuesta. Estos son, por lo demás, los ejercicios que encajan mejor en los problemas de selectividad.

Pizzini et al. (1989) señalan: "Aunque los problemas sean diversos todos tienen tres componentes básicos: una información dada, operaciones que hay que realizar para resolver el problema y meta o descripción del problema resuelto" (l.c. pg. 525). Los mismos autores indican a continuación que quien resuelve un problema, pasa sucesivamente por tres estados de conocimiento: el inicial, el que se da en el proceso como resultado de la aplicación del operador, y el estado final o conocimiento del problema resuelto.

Dentro ya de los problemas cuya solución se ha estudiado, debe advertirse que no todos ellos tienen la misma riqueza y las mismas posibilidades, por lo que respecta a su capacidad formativa. Fairbrother (1986) pone de relieve dos características de los problemas que son realmente interesantes. Esas características consisten en que "sitúan el énfasis en la autonomía para preparar las decisiones y requieren la integración de fragmentos de conocimiento y de habilidades que han sido aprendidas en otros contextos" (l.c. pg. 201).

Algunos de los problemas cuya solución se estudia no son precisamente ricos en autonomía e integración de conocimientos y habilidades. Se trata de ejercicios numéricos que dan concreción a los conceptos abstractos estudiados en la teoría. Otros problemas presentan situaciones que requieren utilizar conocimientos adquiridos en distintos capítulos de la Física e incluso en alguna otra asignatura.

Todos los problemas que se van a estudiar a continuación son ejercicios presentados en una situación de examen. Una vez que los alumnos realizaron el examen, las cuestiones fueron comentadas en clase y, en bastantes casos, hubo cambios de impresiones individualizados con los alumnos que estaban interesados. Esto permitió -así, al menos, se cree -interpretar mejor las respuestas.

3.4.0.2. Las pautas seguidas.

Hay dos líneas interesantes en la investigación sobre la resolución de problemas: (a) el estudio comparativo de la manera de resolver problemas que tienen los principiantes y los expertos, y (b) las investigaciones encaminadas a ver cómo se mejora la capacidad de resolver problemas, y cómo se aprovecha el enorme potencial didáctico que tiene un buen procedimiento en la resolución de problemas.

(i) Eylon y Linn (1988) y Mestre y Touger (1989) revisan bastantes estudios, que comparan la actividad de expertos y principiantes, por lo que toca a la manera de resolver problemas. Más recientemente, Willson (1990) ha discutido la validez de este tipo de trabajos para determinar pautas didácticas. Los estudios comparativos de expertos y principiantes incluyen "dificultades por lo que respecta al ordenamiento causal, a la instrumentación, a las limitaciones de generalización y a las comparaciones de grupos de control no equivalentes" (l.c. pg.71). A pesar de todo Willson admite que no son inútiles estos trabajos; sugiere, además, que puede ser una cantera rica el seguimiento del proceso evolutivo de algunos alumnos "que progresan desde la situación de principiantes hasta un estado algo más avanzado, que podría describirse como competencia creciente" (ib., pg. 74).

Sin duda, la observación de los alumnos que avanzan con más éxito puede proporcionar muchas pistas; pero quizás sea más rico aún observar a quienes tienen dificultades para progresar. Kramers-Pal y Pilot (1988) ponen esto de relieve: "Para mejorar la instrucción es necesario seguir la pista de las causas subyacentes de las dificultades: deficiencias y errores en el proceso de pensamiento" (l.c. pg. 512). No parece arriesgado afirmar que ambas pautas de conducta, la de los alumnos que se estancan y la de quienes avanzan rápidamente, ofrecen datos que pueden ser ~~complementarios~~

para comprender con mayor profundidad las complejidades del proceso de aprendizaje.

En el trabajo de campo se ha puesto casi todo el énfasis en la detección y análisis de las dificultades de los alumnos. Quizás haya influido en ello el hecho de que el trabajo se ha llevado a cabo, con los propios alumnos, por parte de un enseñante que opina que una de las prioridades de la profesión es apoyar más a los alumnos que tienen mayores dificultades.

(ii) Antes se hablaba de investigación encaminada a mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje en la resolución de problemas. Gil Pérez et al. (1988), por ejemplo, critican "los supuestos implícitos en la investigación sobre resolución de problemas" (l.c. pg.131) y proponen un modelo de resolución de problemas. Los autores señalan que sus orientaciones "no constituyen un algoritmo que pretenda guiar paso a paso la actividad de los alumnos... Intentan, pues, ayudar a superar lo que se ha denominado «metodología de la superficialidad»... haciendo posible un tratamiento de los problemas a la vez imaginativo y riguroso, acorde con lo que constituye la metodología científica" (l.c. pg. 135-136).

El modelo propuesto por los autores citados es, sin duda, convincente y la evidencia empírica que aportan es un argumento en favor de su eficacia. Sin embargo, en la situación actual del sistema educativo surge una

interrogante: ¿garantiza el modelo unos buenos resultados en la selectividad, tal como ésta está planteada? La pregunta tiene sentido, porque ni alumnos, ni profesor, ni padres de alumnos, estarían dispuestos a admitir un fracaso masivo en selectividad. El panorama no está claro. Los exámenes de selectividad, por ejemplo, tienen limitaciones de tiempo y la evidencia aportada en el trabajo últimamente mencionado sugiere que la resolución de los problemas por el procedimiento propuesto lleva más tiempo, en general, que la resolución por los métodos tradicionales. Parece, además, que el éxito está mejor asegurado en selectividad cuando el alumno es capaz de "reconocer" pronto el tipo de problema y aplicar los algoritmos resolutorios correspondientes. Para ello es necesario que el alumno se haya ejercitado bastante en la resolución de muchos problemas de tipos diferentes. El miedo al fracaso en selectividad ha sido la causa de que no se haya utilizado, con más frecuencia, a lo largo del curso, el modelo propuesto, últimamente mencionado; al trabajar los problemas en clase han sido frecuentes los procedimientos tradicionales aunque, eso sí, insistiendo siempre en que los alumnos cayeran en la cuenta de lo que significaba la situación física descrita en el problema y diseñaran algún tipo de estrategia antes de acudir al empleo de "las fórmulas".

Establecido ya el marco de referencia, se pasa al estudio de la información recogida. Las cuestiones a las que respondieron los alumnos -en situación de examen, como se ha

dicho antes - están en el Anexo III. Se han estudiado por separado los resultados correspondientes a las dos promociones: grupos A87 y B87, por una parte, y grupos A88 y B88 por otra.

3.4.1. Pautas de los grupos A87 y B87 en lo que afecta a la resolución de problemas

En primer lugar se va a proceder a la clasificación de respuestas y cuestiones; a continuación se van a discutir los resultados.

3.4.1.1. Clasificación de las cuestiones y de las respuestas

Dada una cuestión de examen determinada es posible asignarle tres números: el primero es el porcentaje de alumnos que responden correctamente; el segundo, el porcentaje de los que responden incorrectamente; el tercero, el porcentaje de los que no abordan la cuestión. Como base para los porcentajes se toma, en los tres casos, el número total de alumnos que hacen el examen. Se han utilizado porcentajes para facilitar las comparaciones. De hecho, el número de alumnos que intervinieron en los distintos exámenes varió de una ocasión a otra y, en esas condiciones, la utilización de números absolutos podría resultar incómoda a efectos comparativos.

Se ha utilizado como criterio para clasificar las respuestas el grado de corrección de las mismas. Según este criterio las respuestas se dividen en correctas e incorrectas. A estas dos clases se ha añadido una tercera, con el fin de incluir en la clasificación todas las pautas observadas: se trata de las respuestas inexistentes. Hay

alumnos, en efecto, que no abordan alguna o algunas de las cuestiones propuestas.

En el Anexo III, Parte I, al principio, se indica el número de alumnos que intervinieron en cada uno de los exámenes. En el mismo Anexo figuran las distintas cuestiones numeradas según el orden con que aparecieron en los papeles de examen. Los enunciados que aparecen en el Anexo son una forma resumida y esquematizada de los que se presentaron a los alumnos en los cuestionarios de examen. Después del enunciado de cada cuestión, se indica la evaluación en que apareció y el porcentaje de respuestas correctas, incorrectas o no dadas, que obtuvo. Cada cuestión está, pues, caracterizada por tres valores que no son independientes entre sí, ya que la suma de los tres números es igual a 100.

Conviene advertir, de entrada, que el hecho de que una cuestión obtenga un porcentaje elevado de respuestas correctas no es, necesariamente, prueba de que sea una cuestión sencilla. Puede tratarse de una cuestión que ha suscitado el interés de los alumnos, o de una cuestión relacionada con un punto difícil del programa, al que, precisamente por su reconocida dificultad, se ha dedicado mucha mayor atención por parte de alumnos y profesor, con el resultado de un conocimiento más a fondo del tema. En contrapartida: tampoco puede concluirse, a primera vista, que las cuestiones a las que se asocia mayor número de

respuestas incorrectas o no dadas sean precisamente las más difíciles. Puede tratarse, por ejemplo, de cuestiones relacionadas con puntos poco importantes, que han sido tratados en clase un tanto aprisa y sin cuidado especial.

En realidad, la estimación de la dificultad de una cuestión es una operación muy difícil, en la que habría que tener en cuenta consideraciones de rendimiento, motivación, situación inicial y estilo cognitivo de los alumnos, entre otras cosas. Por todo ello, la proporción de éxitos o fracasos, asociados a una cuestión determinada, no es un criterio definitivo para calibrar su dificultad, ni tampoco para estimar la dificultad del tema al que se refiere la misma. A pesar de todo esto, y teniendo siempre en cuenta las salvedades apuntadas, el conocer la proporción de éxitos o fracasos es sin duda muy útil. En efecto, no puede negarse que merecen atención especial las cuestiones que acumulan mayor número de fracasos; en primer lugar, porque requieren una intervención didáctica adecuada y, en segundo lugar, porque ofrecen pistas para explorar posibles problemas de aprendizaje. Por supuesto, la identificación del problema de aprendizaje, si es que existe, requerirá un estudio ulterior; pero las pistas y las zonas de enfoque, las proporciona el conocimiento de los resultados.

En ese estudio ulterior, al que acaba de aludirse, hay tres formas de proceder que pueden arrojar bastante luz: (a) los diálogos mantenidos con los alumnos, después de cada

examen, y comentando precisamente sus respuestas; (b) la comparación de los resultados obtenidos por cuestiones semejantes que aparecen en distintas evaluaciones; (c) el análisis de las pautas de error más frecuentes que se detectan en las respuestas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por cada cuestión, se ha establecido un ordenamiento de las mismas. En realidad se han establecido tres ordenamientos, según se atendiera al porcentaje de respuestas correctas, incorrectas o no dadas, asociado a cada cuestión. En la Tabla XIX figuran estos tres ordenamientos.

La presentación de los datos requiere algo más de refinamiento:

(i) Se ha hablado de porcentaje de alumnos que responden incorrectamente a una cuestión y de porcentaje de alumnos que no abordan una cuestión. El primer tipo admite una interpretación de límites bien definidos, pero de contenido indefinido: se sabe que la respuesta es incorrecta -y aquí está la delimitación de la cuestión-, pero las incorrecciones pueden ser de lo más variado -y aquí está la indefinición-. Para hacerse idea de las incorrecciones es preciso analizar cada una de las respuestas. El saber sólo que la respuesta es incorrecta, dice poco: no indica el tipo de intervención didáctica específica que debe seguirse

Pasa a la pg.286-----

TABLA XIX.- Ordenación de la cuestiones de examen
(problemas) según el porcentaje de res-
puestas de los grupos A87 y B87.

1	1	(88.1)	32	(5.7)	5	(0.0)
2	32	(86.8)	1	(8.6)	1	(3.3)
3	56	(76.7)	56	(20.0)	46	(3.3)
4	35	(69.8)	35	(20.8)	47	(3.3)
5	33	(62.3)	29	(21.4)	48	(3.3)
6	57	(60.0)	26	(23.2)	49	(3.3)
7	38	(56.6)	28	(23.3)	56	(3.3)
8	6	(56.0)	6	(23.7)	57	(3.3)
9	37	(54.7)	27	(26.8)	58	(6.7)
10	2	(54.2)	43	(28.3)	32	(7.5)
11	26	(51.8)	33	(30.2)	33	(7.5)
12	48	(50.0)	12	(31.0)	35	(9.4)
13	36	(47.2)	42	(33.9)	37	(9.4)
14	3	(45.8)	38	(34.0)	38	(9.4)
15	43	(45.3)	2	(35.6)	39	(9.4)
16	28	(44.6)	37	(35.9)	2	(10.2)
17	34	(43.4)	57	(36.7)	3	(10.2)
18	47	(43.3)	34	(39.6)	14	(10.3)
19	46	(40.0)	36	(39.6)	23	(12.5)
20	29	(37.5)	41	(39.6)	36	(13.2)
21	41	(34.0)	3	(44.0)	53	(13.3)
22	42	(34.0)	13	(44.8)	4	(13.6)
23	58	(33.3)	44	(45.3)	24	(16.1)
24	12	(27.6)	52	(46.6)	34	(17.0)

TABLA XIX.- Continúa

25	27	(26.8)	48	(46.7)	40	(17.0)
26	5	(25.4)	55	(46.7)	10	(17.2)
27	24	(25.0)	30	(48.2)	15	(17.2)
28	53	(23.3)	54	(50.0)	45	(18.9)
29	54	(23.3)	7	(52.6)	50	(20.0)
30	44	(22.6)	19	(53.4)	6	(20.3)
31	23	(21.4)	47	(53.4)	11	(20.7)
32	10	(20.6)	25	(53.5)	16	(20.7)
33	14	(18.9)	21	(55.2)	31	(21.4)
34	15	(18.9)	51	(56.6)	26	(25.0)
35	45	(18.9)	46	(56.7)	41	(26.4)
36	4	(16.9)	20	(56.9)	43	(26.4)
37	7	(16.9)	24	(58.9)	54	(26.7)
38	31	(16.1)	58	(60.0)	17	(27.6)
39	20	(15.5)	22	(60.4)	20	(27.6)
40	16	(13.8)	10	(62.2)	7	(30.5)
41	21	(13.8)	45	(62.2)	8	(30.5)
42	55	(13.3)	31	(62.5)	9	(30.5)
43	39	(13.2)	53	(63.4)	21	(31.0)
44	40	(13.2)	15	(63.9)	22	(31.0)
45	11	(10.3)	16	(65.5)	28	(32.1)
46	49	(10.0)	23	(66.1)	42	(32.1)
47	30	(8.9)	18	(67.4)	44	(32.1)
48	13	(8.6)	8	(67.8)	18	(32.6)
49	22	(8.6)	9	(67.8)	51	(36.7)

TABLA XIX.- Continúa

50	51	(6.7)	11	(69.0)	55	(40.0)
51	52	(6.7)	4	(69.5)	29	(41.1)
52	25	(3.6)	40	(69.8)	12	(41.4)
53	50	(3.3)	14	(70.8)	25	(42.9)
54	8	(1.7)	17	(72.4)	30	(42.9)
55	9	(1.7)	5	(74.6)	27	(46.4)
56	17	(0.0)	50	(76.7)	13	(46.6)
57	18	(0.0)	39	(77.4)	19	(46.6)
58	19	(0.0)	49	(86.7)	52	(46.7)

La primera columna representa el número de orden. Los números en las columnas 2,4 y 6 corresponden a las cuestiones del Anexo III, parte 2a. Los números entre paréntesis de las columnas 3,5 y 7, representan respectivamente los porcentajes de repuestas correctas, incorrectas y no dadas.

ni tampoco indica dónde radica la dificultad subyacente. En el presente trabajo se han estudiado las pautas de error manifiestas en las respuestas incorrectas; muchas de ellas se presentarán más adelante, al comentar las cuestiones que han obtenido peores resultados.

(ii) El porcentaje de alumnos que no contestan a una cuestión puede admitir varias interpretaciones, sobre todo si se tiene en cuenta que las respuestas estudiadas fueron elaboradas en una situación de examen, en el que se fijó de

antemano el tiempo disponible para contestar. En esas circunstancias, el que una respuesta no haya sido contestada admite, al menos, estas dos explicaciones: (a) el alumno desconoce bastante el tema al que se refiere la cuestión, y no intenta, siquiera, comenzar su elaboración; (b) el alumno trabaja a un ritmo que no le permite cubrir todas las cuestiones de examen en el tiempo prefijado y por eso no contesta a algunas de ellas. Esta última posibilidad pudo descartarse en el caso de alumnos que entregaron sus hojas de examen con cuestiones sin contestar y abandonaron la sala antes de que se agotara el tiempo prefijado. Sin embargo la posibilidad no pudo descartarse en todos los casos, ya que hubo alumnos que agotaron el tiempo y dejaron cuestiones sin contestar. Pero hay más; si un alumno tarda en contestar a una cuestión, cabe preguntarse: ¿lo hace porque su ritmo es lento, por ejemplo al escribir, o al transformar expresiones matemáticas, o al calcular, etc.?, o bien ¿es lento porque sus capacidades de procedimientos básicos para combinar, relacionar, etc. están aún poco desarrolladas?, o bien, ¿tarda porque el conocimiento del tema, al que se refiere la cuestión, no está aún bien integrado en su estructura mental y cuenta con menos recursos para comprender la situación? Además de las capacidades y conocimientos del alumno, hay que tener cuenta también su forma habitual de proceder: se dan alumnos, por ejemplo, que al enfrentarse con un problema, lo abandonan bien pronto si no vislumbran rápidamente algún atisbo de solución; hay otros alumnos, por

el contrario, que son más constantes y que no abandonan fácilmente un problema sin haber hecho repetidas tentativas.

Al ser tantos los factores que pueden influir en que una pregunta quede sin contestar, el hecho de encontrarnos con una cuestión no contestada es poco informativo. Sin embargo, cuando la ausencia de respuestas a una cuestión tiene una frecuencia elevada, se enciende una señal de alarma que sugiere observaciones ulteriores, más detalladas, para rastrear cuál es realmente la situación de los alumnos. Sólo la actividad ulterior puede proporcionar claves más seguras para interpretar las omisiones. En el presente trabajo, las cuestiones no contestadas se han estudiado siguiendo las informaciones obtenidas fuera de los exámenes.

(iii) Para cada una de las cuestiones se han establecido comparaciones entre el porcentaje de alumnos que responden correctamente y el de los que no responden. Se ha calculado el coeficiente $R = (\% \text{ resp. incorrectas}) / (\% \text{ resp. no dadas})$. Los valores de "R" se encuentran en la Tabla XX. Como puede observarse, en la gran mayoría de los casos, el porcentaje de alumnos que responde incorrectamente a una cuestión determinada es superior al de alumnos que no responden.

TABLA XX.- Relación entre los porcentajes de respuestas incorrectas y resp. no dadas. Grupos A 87 y B 87

0	=< R < 1 :	29 , 27 , 28 , 12 , 32 , 26 , 13 , 52 ,
1	=< R < 2 :	42 , 43 , 30 , 19 , 6 , 55 , 25 , 44 , 41 , 51 , 7 , 21 , 54 , 22 ,
2	=< R < 3 :	20 , 18 , 35 , 8 , 9 , 34 , 1 , 17 , 31 , 36 ,
3	=< R < 4 :	16 , 45 , 11 , 2 , 10 , 38 , 24 , 15 , 37 , 50 ,
4	=< R < 10 :	33 , 40 , 3 , 53 , 4 , 23 , 56 , 14 , 39 , 58 ,
10	< R	57 , 48 , 47 , 46 , 49 , 5 ,

 R es el cociente de las respuestas incorrectas por las respuestas no dadas

3.4.1.2. Reflexiones sobre la actuación global de los alumnos.

(1) La actuación de los alumnos, en lo que respecta a los problemas de examen, es poco alentadora. Teniendo en cuenta la totalidad de las respuestas, se han calculado los porcentajes medios de alumnos que contestan correctamente, incorrectamente o que no contestan; se han calculado también las desviaciones típicas. Los resultados aparecen en la Tabla XXI. El porcentaje medio de respuestas correctas no

llega al 30% y, lo que es peor, el porcentaje medio de respuestas incorrectas es casi 50%. Los grupos estudiados estuvieron muy lejos de manifestar, en sus exámenes, un dominio aceptable de los temas propuestos. No sólo existe desconocimiento; se dan con frecuencia pautas erróneas, tanto en los conceptos como en los procedimientos empleados para resolver los problemas. De ello se hablará con detalle más adelante.

TABLA XXI.- Porcentajes medios y desviaciones típicas de respuestas correctas, incorrectas o no dadas por los alumnos de los grupos A87 y B87 a las cuestiones del Anexo III, parte I.

	Resp. corr.	Resp. incorr.	Resp. no dadas
‡ medio	29.15	49.37	21.4
desv.típ	22.58	18.68	13.63

El que el alumno tenga determinados errores puede ser causa de fuerte desorientación. Si él no sabe algo y es consciente de ello, se puede sentir motivado para superar su ignorancia; pero, cuando cree que sabe algo, sin saberlo en realidad, difícilmente puede tener un estímulo para revisar lo que ha aprendido.

(ii) Cuando se dispone solamente de las hojas de examen escritas por los alumnos, es muy difícil - si es que es posible en algún caso - deducir la forma en que los sujetos han procedido mentalmente mientras escribían su examen. Tampoco es seguro el camino de invitar a los alumnos a que relaten su actuación en retrospectiva. De todos modos, tanto las hojas, como las conversaciones con los alumnos, ofrecen pistas relevantes para continuar el trabajo de búsqueda de información.

(iii) Antes de entrar en la consideración detallada de cada una de las cuestiones, se va a describir una forma de proceder de los alumnos que es bastante generalizada. Se trata de la pauta que describe Hammer (1989) como "miro todas esas fórmulas...". Este autor, en un estudio de casos, describe como dos polos de comportamiento: el primero es el mencionado; el segundo lo identifica bajo el epígrafe "intento imaginarme...". Más en concreto. La forma en que abordó el curso una de la alumnas, Liza, "consistió en aprender fórmulas y hechos basados en la autoridad del profesor y del texto. Para Liza, las fórmulas eran la física, y lo que el profesor decía en clase o lo que estaba en el libro de texto constituía justificación suficiente." (l.c., pg. 665). Otra forma de ver la Física era la de Ellen, para la cual "el formalismo era sólo una manera de ver la física. Ella deseaba extraer el significado del material, integrarlo en sus propias intuiciones" (l.c., pg. 666). Hammer cree que estas pautas no son idiosincrásicas,

sino generalizadas, y reconoce que Liza obtuvo mejores resultados en la resolución de problemas numéricos.

La observación de las hojas de examen sugiere que los alumnos de los grupos A87 y B87 se encuentran, por lo general, en la primera clase, la representada por Liza en el trabajo de Hammer. Esta sugerencia se corrobora bastante cuando se tienen en cuenta algunas observaciones efectuadas a lo largo del curso. Lo chocante es constatar que se da esta pauta a pesar de que, en las clases, se insistió, con relativa frecuencia, en que los alumnos se preocuparan por buscar la comprensión de las situaciones antes de acudir a las fórmulas. Veamos con más detalle los hechos:

-- En las respuestas de examen puede verse, con bastante frecuencia, la siguiente pauta: en primer lugar los sujetos escriben ordenadamente los datos, generalmente en una columna (por ejemplo: $m = 20 \text{ Kg.}$, etc.); a continuación escriben algunas expresiones que creen relevantes para la resolución, aunque en algunos casos no estén relacionadas (así, por ejemplo, hay quien escriba $V=I.R$, aunque se trate de un fragmento de un circuito en el que no hay ninguna resistencia); a continuación se intenta encajar los datos en las fórmulas, y si no se produce el resultado apetecido, se prueba con nuevas fórmulas.

-- Se observa cierta perplejidad cuando la cuestión no es un problema numérico típico, resoluble a través de los algoritmos más frecuentes. Por ejemplo, se pidió a los

alumnos que identificaran una situación en la que se daban las condiciones para un movimiento armónico simple, algo bien conocido por ellos; la situación, por supuesto, era de un tipo que no se había visto en clase. Casi todos los alumnos fluctuaron bastante y, al final, no supieron qué camino tomar.

-- Varios alumnos manifestaron que su mayor dificultad, al tratar los problemas, consistía en que no sabían relacionar los conceptos que conocían con las situaciones concretas. En un lenguaje más coloquial, no acertaban a encontrar las fórmulas en que encajar los datos. Lo mismo dijeron alumnos del curso siguiente. Una alumna del A88 decía: "Comienzo a repasar los libros y los apuntes para ver si encuentro alguna fórmula que encaje con los datos. Muchas veces, la fórmula ensayada no me funciona".

-- La forma de proceder que acaba de describirse se mantuvo con bastante persistencia, a pesar de que, con no menos frecuencia, se recomendaba a los alumnos la conveniencia de formarse una idea clara de lo que se pedía en el problema y de la situación expresada en el enunciado, antes de proceder a la utilización de fórmulas. Asimismo, en las situaciones en que se resolvieron problemas por parte del profesor, a modo de ejemplo de procedimiento a seguir, se insistió también en el esfuerzo previo por comprender la situación. La persistencia de la forma inadecuada de procedimiento, quizás encuentre su explicación en el hecho

de que ha sido aprendida tempranamente por los estudiantes, y "funciona", da resultados positivos, con relativa frecuencia, dado el tipo de problemas que se suelen proponer en los exámenes y en los deberes escolares.

3.4.1.3. Pautas observadas en las cuestiones que obtienen peores resultados

Para no recargar mucho el texto, se van a considerar solamente las 15 cuestiones que obtuvieron los porcentajes más bajos de respuestas correctas y las 15 que obtuvieron los porcentajes más altos de respuestas incorrectas. El número 15 supone aproximadamente el 25% del total en cada una de las categorías. Ocho de las cuestiones que obtuvieron mayor porcentaje de respuestas incorrectas están incluidas en el grupo de las 15 que obtuvieron porcentajes más bajos de respuestas correctas. Así, pues, se van a comentar 22 cuestiones, algo más de la tercera parte del total.

3.4.1.3.1. Campos gravitatorio y eléctrico

(i) Un tema en el que manifiestan deficiencias grandes los alumnos al abordar los problemas es, sin duda, el de los campos. En el temario figuran el campo gravitatorio, el campo electrostático y el magnético. Los dos primeros han sido los más estudiados. El procedimiento que se siguió en su estudio fue éste: se partió de la ley de la gravitación universal, se hicieron varios ejercicios, consistentes en calcular las fuerzas atractivas entre dos masas situadas en

distintos puntos del espacio, y en calcular la fuerza resultante ejercida sobre una masa por un conjunto de masas distintas; hasta aquí se suponía que las masas eran puntuales. Se introducía después el concepto de campo creado por una masa puntual y el de diferencia de potencial; se calculaban, para distintos puntos del espacio, el valor del campo y las diferencias de potencial creadas por un conjunto de masas puntuales discretas; el tema concluía estudiando el campo y las diferencias de potencial creados por distribuciones continuas de masa en situaciones en que sólo eran necesarios métodos muy elementales de integración. Un proceso análogo, con las mismas etapas, se siguió en electrostática, partiendo de la ley de Coulomb y utilizando, de forma consistente, los conceptos y aspectos formales que se habían elaborado en el estudio del campo gravitatorio.

a) En la 2ª evaluación, cuestión 17, se pidió a los alumnos calcular, para un punto determinado del espacio, el valor del campo creado por una configuración de 2 masas puntuales cuya localización se daba. Ningún alumno consiguió dar una respuesta totalmente satisfactoria y el 77% dieron respuestas incorrectas. Las incorrecciones fueron de muy diversos tipos:

-- Una pauta muy frecuente consistió en no tener en cuenta el carácter vectorial del campo: hubo quienes calcularon bien el módulo del vector campo producido por cada una de las masas puntuales, pero no hallaron las

componentes de los vectores, sumaron los valores obtenidos para los módulos y ofrecieron este resultado como valor del campo resultante.

-- Otra pauta consistió en calcular las tres componentes ortogonales de los dos vectores, para luego sumar solamente dos de esas componentes; por ejemplo, las componentes según el eje Z, y dar esa suma como valor del campo.

-- Es también una pauta frecuente de error el tratamiento equivocado de aspectos geométricos: cálculo de las distancias, cálculo de los cosenos directores y cálculo de las componentes de los vectores según cada uno de los ejes. Por ejemplo, hubo quienes, en vez de tomar las distancias desde las masas al punto dado, tomaron las distancias existentes entre las masas y el origen de coordenadas.

Las pautas de error anteriores son relativamente frecuentes y han podido observarse entre el 17% y el 21% de los casos. A veces, más que pauta de error, se advierte carencia conceptual: alumnos que calculan bien las fuerzas entre varias masas, no son capaces de calcular el valor del campo. Parece que necesitan el apoyo de una masa perceptible para hacerse idea exacta de la situación.

b) En la 3ª evaluación, cuestión 23, apareció una pregunta análoga a la que acaba de analizarse: se trataba de

calcular el valor del campo eléctrico en el punto medio de la base de un rectángulo, en cuyos vértices había 4 cargas puntuales. La cuestión, sin embargo, ofrecía una variante: mientras que en la segunda evaluación se daban las coordenadas de todos los puntos que había que tener en cuenta, aquí se daban sólo las dimensiones del rectángulo, y, mientras que el problema de la 2ª evaluación requería moverse en un espacio tridimensional, éste podía resolverse sin salirse de un plano. Estas variaciones tienen su importancia porque permiten ver de dónde derivan las dificultades en el tratamiento de los aspectos espaciales. Los resultados fueron mejores: las respuestas correctas suponen el 21% de los casos y las incorrectas el 66%. Algunas de las pautas relativamente frecuentes son éstas:

-- Todavía persiste una de las pautas señalada antes, en a), ya que el 12.5% de los alumnos calcula bien los módulos de los vectores y luego suma estas cantidades, y da la suma como valor resultante del campo. Asimismo, en el 12.5% de los casos no aparece la descomposición de los vectores en sus componentes ortogonales.

-- Se observan aún dificultades en el cálculo de las distancias: la mayoría de los alumnos aplica con corrección el teorema de Pitágoras, pero todavía hay un 9% que no lo hace así.

-- 17.9% de los alumnos representan gráficamente, de forma equivocada, los vectores que entran en consideración.

Este fenómeno no había podido observarse en la 2ª evaluación, porque ningún alumno había utilizado las representaciones gráficas, quizás por tratarse de tres dimensiones. En los casos a que nos referimos, los alumnos sitúan el inicio de los vectores no en el punto en el que se desea calcular el campo, sino en el punto en que están situadas las cargas. Se les escapa, así, lo que les diría la representación gráfica acerca de la resultante.

-- Curiosamente, aparece una pauta relativamente frecuente, no encontrada con anterioridad: 29% de los alumnos tienen en cuenta solamente una carga para resolver el problema y proceden como si no existieran las otras tres.

c) El tema reaparece en la prueba de suficiencia, cuestión 50, de nuevo trabajando con cargas y en el plano: dos cargas conocidas están en los vértices de un triángulo equilátero y se pide el valor del campo en el tercer vértice. Los resultados siguen siendo malos: sólo 3.3% de respuestas correctas y 76.7% de incorrectas. Parece darse un retroceso sobre la tercera evaluación, pero los resultados no son comparables, porque el examen de suficiencia lo hicieron sólo 30 alumnos - algo más de la mitad del total - y, además, los que habían manifestado menor competencia a lo largo del curso.

-- Todavía hay 10 alumnos, 17% de la población total, que suman los valores obtenidos para los módulos y dan eso como valor del campo.

-- Solamente hay 3 alumnos que representan mal los vectores.

-- Prácticamente ha desaparecido la pauta de tener en cuenta una sola carga, tan frecuente en la 3ª evaluación.

d) Tomando, conjuntamente, los resultados correspondientes al cálculo de campos, puede decirse que aproximadamente uno de cada cinco alumnos no consigue dominar lo relativo a la naturaleza vectorial; este tipo de alumno parece haber comprendido bien la ley de la inversa del cuadrado, pero prácticamente ignora los aspectos de dirección y sentido que tienen los campos gravitatorio y electrostático. Asimismo se constata cierta incapacidad para elaborar representaciones espaciales correctas, y calcular las distancias. Es posible que ambos factores - comprensión de la naturaleza vectorial y elaboración de representaciones espaciales - estén correlacionados; no obstante, las observaciones realizadas no son suficientes para concluirlo.

En un ámbito más general, conviene constatar la persistencia de las pautas de error en algunos sujetos, a pesar de las intervenciones didácticas encaminadas a corregirlas. Al constatar, en la 2ª evaluación, las dificultades asociadas a la comprensión de la idea de campo, se explicó detenidamente en qué consistían las incorrecciones y se pusieron ejercicios adicionales. A pesar de todo, persistieron las pautas equivocadas. El tema de los errores conceptuales, preconceptos, esquemas

alternativos, etc., ha sido bastante estudiado desde hace tiempo, como se señaló en el capítulo 1. Una de las características de estos errores, señala entre otros muchos Driver (1986) es precisamente su persistencia; ésta se da incluso entre estudiantes más aventajados, como observa Peters (1982). Aunque las deficiencias estudiadas hasta ahora no sean, estrictamente hablando, preconceptos - ideas preexistentes en el alumno antes de entrar en contacto con la disciplina - están relacionadas con ellos, puesto que, en último término, son el resultado de una interacción desafortunada entre el esquema conceptual del alumno y la materia que se le presenta en clase. Esto puede explicar quizás su persistencia.

(ii) Otro tema complicado, aunque menos que el cálculo del valor del campo, es el de los potenciales.

a) En la 2ª evaluación, cuestión 18, se pidió el cálculo del potencial. Resultado: ninguna respuesta correcta. Además del 17% de alumnos que tenían dificultades con el cálculo de las distancias, 7% de los alumnos calcularon el potencial para un punto distinto al que se pedía en la cuestión; 12% calcularon bien el potencial, pero teniendo en cuenta solamente parte de los elementos que entraban en el problema; 5% confundieron el potencial con el módulo del campo; etc. En la cuestión 19, muy conectada a la 18, se obtuvieron resultados parecidos. En la misma evaluación 2ª, cuestión 22, había un problema, una parte del

cual podía ser resuelta muy fácilmente, calculando la diferencia de potencial entre la superficie de la Tierra y un punto alejado de ella, cuya distancia a la misma era conocida. 10% de los alumnos emplearon, para la energía potencial, la expresión $E = mgh$, a pesar de que g no podía ser tomada como constante.

b) Al aparecer de nuevo el tema de los potenciales en la 3ª evaluación, cuestión 24, se constató un avance. Hubo 25% de respuestas correctas y 59% de incorrectas. Sin embargo, todavía 9% de alumnos tomaron mal las distancias, 14% no tuvieron en cuenta todas las cargas que intervenían en el problema y 4% las tuvieron en cuenta, pero no sumaron los potenciales.

c) En la prueba de suficiencia, cuestión 51, apareció de nuevo el cálculo de potenciales. De los 30 alumnos, 37% no lo abordaron, 10% restaron los potenciales, a pesar de ser todas las cargas del mismo signo, y sólo el 7% resolvieron bien el problema.

d) Una comparación de los resultados parece indicar, como cabe esperar a partir del análisis de los conceptos, que los alumnos encontraron menos dificultades en el cálculo de los potenciales que en el cálculo del valor del campo.

(iii) La tercera cuestión, relacionada con el tema de campos, es el cálculo de la energía almacenada por una configuración determinada de masas o de cargas.

a) El tema apareció, por primera vez, en la cuestión 25 y sólo lo trataron bien un 3.6% de alumnos. Hay un 54% de respuestas incorrectas y un 43% de alumnos que no respondieron. Analizando detenidamente las respuestas, se ve que unas tres cuartas partes de los que contestan no habían captado, en absoluto, el concepto, aunque conservaban una vaga idea del procedimiento que podría emplearse para efectuar los cálculos.

b) En la prueba de suficiencia, cuestión 52, se obtuvieron resultados parecidos: 47% de los alumnos respondieron incorrectamente y otros tantos no respondieron. No se detectó ninguna pauta de error generalizada.

3.4.1.3.2. Movimiento ondulatorio

El tema del movimiento ondulatorio apareció por primera vez en la evaluación 2ª, cuestiones 11, 14, 15 y 16. El porcentaje de respuestas correctas a estas cuestiones se mantuvo entre el 10% y el 19%; el porcentaje de respuestas incorrectas osciló alrededor de los dos tercios.

(i) El estudio de las respuestas dadas a la cuestión 11 lleva a pensar que los alumnos no habían comprendido el fenómeno de las interferencias. Dicha cuestión supone una situación en que una onda avanza, se refleja y, al reflejarse, crea interferencias con la onda que avanza. Entre las frases de los alumnos había algunas como éstas:

"las ondas chocan frontalmente", "colisionan", "hay lugares donde se corta la onda", etc.

(ii) Los errores en la cuestión 14, en que se pide una expresión matemática del movimiento ondulatorio, son de distinto tipo. 29% no recuerdan bien la función; escriben, por tanto, expresiones generales incorrectas. 16% escriben bien la función general, pero fracasan en el intento de sustituir símbolos generales por números concretos, correspondientes a los datos del problema.

(iii) Las cuestiones 15 y 16 están bastante relacionadas entre sí, y pueden detectarse dos tipos de pautas: 22% de los alumnos responden mal porque derivan mal; 43% no consiguen hallar valores de x y t para los cuales $(kx - \omega t) = n\pi$ ó bien $(kx - \omega t) = (2n+1)\pi/2$. El ejemplo, últimamente aducido, ilustra una pauta muy general: la falta de destreza de los alumnos en el uso de los conceptos trigonométricos.

(iv) En la 4ª evaluación aparece la cuestión 45, análoga a la 14. Los resultados son algo mejores. Además, los errores se han reducido. Sólo el 9% de los alumnos expresó incorrectamente el número de onda y la frecuencia angular; era mayor el número de alumnos que recordaban bien la expresión general; las sustituciones estaban mejor hechas y el 51% de las respuestas incorrectas tenían, como único defecto, el tomar un valor de la amplitud doble del debido.

3.4.1.3.3. Transferencia de conocimientos a situaciones nuevas

Las cuestiones 8 y 9, evaluación 1ª, tenían como finalidad explorar la capacidad de los alumnos para transferir los conocimientos adquiridos, en un contexto determinado, a otros contextos diferentes, aunque análogos a los primeros. Los conocimientos elegidos para esta prueba fueron los relativos al movimiento armónico simple. Al estudiarlo, se había utilizado, como soporte ilustrativo, el caso de péndulos simples y sistemas en que un muelle, con un extremo fijo y el otro adherido a una masa, se alarga y se contrae. Intencionadamente se había omitido cualquier referencia a la torsión. En el examen se presentó un sistema compuesto por masas puntuales iguales, unidas por una varilla de masa despreciable; la varilla estaba suspendida en su punto medio a través de un alambre. Al formular la cuestión se ofreció un diagrama, se utilizaron palabras del lenguaje ordinario y se evitó el uso de cualquier símbolo que pudiera evocar las fórmulas de manera memorística: se hablaba de resistencia del alambre a su deformación, de la relación entre la deformación y el par recuperador, etc.. Se pidió a los alumnos que tradujeran al lenguaje matemático cada una de las relaciones descritas con palabras ordinarias. Se esperaba que las expresiones matemáticas obtenidas les servirían para generalizar sus conocimientos sobre el movimiento armónico simple y llegar así a una

expresión matemática correcta del movimiento oscilatorio del sistema.

Los resultados estuvieron muy por debajo de lo esperado. En primer lugar se detectó que eran muy pocos los alumnos que conseguían expresar matemáticamente lo que estaba descrito en lenguaje ordinario. Así, pues, las expresiones matemáticas correctas no se produjeron y, consiguientemente, los alumnos no tuvieron ante sus ojos lo que se esperaba que fueran pistas de solución. Sólo un alumno respondió bien y ocho más intuyeron que se trataba de un movimiento armónico simple, aunque sin justificarlo plenamente.

El análisis de las respuestas no permite dilucidar si los alumnos tenían o no capacidad para generalizar unos conocimientos determinados. La escasa calidad de las respuestas puede atribuirse a falta de capacidad; pero es posible otra interpretación. Al darse un elevado número de expresiones matemáticas incorrectas, cabe pensar que los alumnos no interpretaron bien la situación porque la codificaron mal, la describieron con expresiones totalmente extrañas para ellos. Esta última explicación está avalada por el análisis de las respuestas a la cuestión 30, en la 3ª evaluación. Se pedía en ella escribir la ecuación de un péndulo en una situación determinada. Sólo hubo 8.7% de respuestas correctas. Los alumnos habían trabajado previamente con péndulos y no encontraban dificultades en su

tratamiento; sin embargo, encontraron dificultades en deducir la amplitud, a partir de la descripción del movimiento que aparecía en el enunciado. Parece que hubo una deficiencia mayor en Matemáticas que en Física.

La explicación anterior tiene sus apoyos, pero no puede descartarse otro factor: la descontextualización. El análisis de las cuestiones 49 y 4 aclarará esto último. En la cuestión 49, prueba de suficiencia, se preguntaba qué efecto tendría, en el módulo de Young, el hecho de cambiar la tensión en un material sometido a tensiones. 86.7% de las respuestas son incorrectas. Los alumnos habían aprendido que Y es algo característico del material, y así lo repetían al ser preguntados. Sin embargo, al encontrarse con una situación en la que se presta atención a las tensiones y no al material, no hacen uso de su conocimiento y se embarcan en una serie de cálculos a partir de la definición de Y y de los datos de que disponían. En la cuestión 4, 1ª evaluación, se les pide que relacionen la amplitud y la frecuencia en un sistema oscilante, compuesto por un muelle y una masa. En sus trabajos de laboratorio, los alumnos habían estudiado este tipo de sistemas y, la mayoría de ellos, había llegado a una conclusión que solían expresar así: "dentro de la precisión que nos permiten nuestras observaciones, la frecuencia no depende de la amplitud". Pues bien, al preguntárseles por la relación entre frecuencia y amplitud, no hacen uso de este conocimiento adquirido, sino que parten de la expresión matemática del movimiento armónico simple y

se esfuerzan en conseguir una expresión que manifieste esta relación.

3.4.1.3.4. Otras cuestiones

Dentro del espectro de respuestas cuyo análisis se decidió en el párrafo inicial de la cuestión 3.4.1.3., quedan aún cuatro, que tienen un carácter concreto y relativamente aislado.

(i) En una de ellas, cuestión 5, evaluación 1ª, se pedía calcular la deformación producida al aplicar una tensión por cizalladura. Aparece un 75% de respuestas incorrectas. Una cuarta parte de los alumnos no parecen tener clara la distinción entre módulo de Young y módulo de cizalladura. Sin embargo la mayoría de los errores no se debe a la concepción sino a deficiencias matemáticas: 17% de los alumnos calculan mal la sección transversal, 15% no utiliza bien el concepto trigonométrico de tangente y 10% utilizan mal las potencias de 10.

(ii) En las cuestiones 39 y 40, 4ª evaluación, se pedía calcular la carga almacenada por un condensador que, en el primer caso, se hallaba en serie con otro y, en el segundo caso, en paralelo con otro. El 42% de los alumnos responden mal, porque aplican de forma automática la expresión $Q = CV$, tomando como valor de V para cada condensador el existente entre los terminales del circuito.

(iii) En la cuestión 13, 2ª evaluación, se pedía indicar qué transformaciones habría que efectuar en un sistema muelle+bloque, suponiendo despreciable la masa del muelle, para cambiar el período de oscilación; se indicaba claramente que no podía alterarse el muelle. El 12% de los alumnos manifiestan sus intuiciones erróneas, sin ningún tipo de prueba, 5% fallan en su razonamiento por problemas matemáticos y 9% sugieren, sorprendentemente, alterar el muelle, aunque ésta era una condición expresamente descartada en el enunciado de la cuestión.

3.4.1.4. Indicaciones sobre el grado de dificultad que experimentan los alumnos.

El análisis de las respuestas de los alumnos que se acaba de hacer, ofrece indicaciones que pueden ser útiles para modificar la práctica docente. Esas indicaciones ponen también de relieve aspectos que deben ser tenidos en cuenta tanto al definir objetivos y contenidos como al secuenciarlos.

TABLA XXII.- Presentación comparativa de las 58 cuestiones del Anexo III, parte I, según temas.

Temas	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Mov. arm. s.	16	27.6	2	12.5	1	6.3
Campos	14	24.1	8	57.1	4	28.6
Circuit.c.c.	9	15.5	0	0.0	0	0.0
Elasticidad	6	10.3	1	16.7	2	33.3
Mov. ondul.	5	8.6	1	20.0	4	80.0
Condensadores	3	5.2	1	33.3	2	66.7
Cálc. de fuerz.	2	3.4	0	0.0	0	0.0
Expl. capacidad	2	3.4	2	100.0	2	100.0
Cinemática	1	1.7	0	0.0	0	0.0

La columna (1) representa el número de cuestiones sobre el tema; la (2) el porcentaje de cuestiones sobre el total de las 58; la (3) el número de cuestiones, sobre el tema, que se encuentran entre las 15 con peores resultados; la (4) el porcentaje relativo; la (5) el número de cuestiones, sobre el tema, que se encuentran entre las 15 con mayor porcentaje de respuestas incorrectas y la (6) el porcentaje relativo; cociente entre los números que figuran en (5) y (1) multiplicado por 100.

En primera aproximación, la Tabla XXII indica de algún modo dónde residen las mayores dificultades encontradas por los alumnos. Adviértanse, en primer lugar, las diferencias de matiz entre las columnas 3 y 4, por una parte y las

columnas 5 y 6, por otra, de la mencionada Tabla. Las primeras se refieren a los casos en que no se llega a respuestas correctas, sin especificar si esto se debe a errores o a omisiones; las segundas se refieren a incorrecciones constatadas. A pesar de las diferencias de matiz, ambas columnas apuntan a algún tipo de dificultades con la asignatura. Para identificar mejor estas dificultades, habrá que completar las expresiones cuantitativas de la Tabla con el análisis de las pautas de error hecho en páginas anteriores.

(i) Las cuestiones en que se intentaba explorar las capacidades de los alumnos, son las que presentan peores resultados en términos relativos. Dos cuestiones solamente, que es lo que se ha visto, no pueden proporcionar información muy amplia; sin embargo, el fracaso notable en ellas es una señal de alarma. Cabe preguntarse si, tanto el proyecto didáctico como su desarrollo, han servido para fomentar y potenciar la adquisición de capacidades que son necesarias en la actividad científica.

(ii) Las tres cuestiones relacionadas con los condensadores presentan otro bloque de malos resultados. No obstante, el fracaso está muy localizado, a juzgar por el análisis de las respuestas: todo se debe a que los alumnos no aplican correctamente el concepto de diferencia de potencial; su actuación refleja un uso automático e irreflexivo de la expresión $Q = CV$. Esto no deja de

sorprender, porque las respuestas a las cuestiones relacionadas con corriente continua, revelan que, en ese caso, los alumnos aplican más razonablemente la idea de diferencia de potencial.

(iii) Las cinco cuestiones relacionadas con el movimiento ondulatorio constituyen el tercer bloque con resultados poco satisfactorios. También aquí está bastante localizado el motivo del fracaso. Un error bastante frecuente consiste en la expresión inadecuada de la amplitud: los alumnos traducen mal, al lenguaje matemático, las expresiones del lenguaje ordinario con las que se intenta describir la amplitud. Por lo demás, se nota algún avance a lo largo del curso.

(iv) El tema con mayores dificultades ha sido el de campos. Esquematisando quizás un poco, puede decirse que las respuestas revelan dos tipos principales de dificultades: a) dificultad para manejar bien las representaciones espaciales; y b) dificultad para abstraer el concepto de campo a partir de situaciones en las que se experimentan fuerzas entre cuerpos.

(v) En contrapartida, los bloques relativos al movimiento armónico simple, corriente continua, cálculo de fuerzas y cinemática, parecen ser los que menores dificultades presentan a los alumnos. El bloque correspondiente a elasticidad ocuparía un lugar intermedio.

* * * * *

Un estudio como el que acaba de hacerse a lo largo de esta sección 3.4.1., reducido a dos grupos de alumnos, no presta, por supuesto, base suficiente para sacar conclusiones con validez general. Sin embargo tiene valor heurístico: al poner de relieve una situación que necesita intervención didáctica especial y al apuntar los motivos por los cuales esa situación resulta problemática, coloca en el punto de enfoque, y con fundamento empírico, temas que vale la pena tener en cuenta al investigar y actuar pedagógicamente. De hecho, la información que se obtuvo a partir de los grupos A87 y B87, influyó en la planificación y desarrollo del presente trabajo a lo largo del curso 88/89, tanto en lo que afecta a la enseñanza como en lo que toca a la investigación. Se prestó atención especial a los temas que se habían manifestado como problemáticos durante el curso 87/88 y, sobre todo, se puso especial énfasis en el tema de campos.

3.4.2. Pautas de los grupos A88 y B88 en lo que afecta a la resolución de problemas

3.4.2.0. Modificaciones en el proyecto didáctico y su desarrollo

La experiencia a lo largo del curso 87/88 aconsejaba introducir algunas modificaciones tanto en el diseño como en el desarrollo del proyecto didáctico. Ciertamente no había muchas posibilidades de maniobra por lo que respecta a los contenidos conceptuales: estaban fijados por el temario oficial y no era posible alterarlos. Sin embargo había posibilidad de modificar la secuenciación, los métodos y las estrategias didácticas. También había cierta posibilidad de actuación - no mucha - al decidir con qué profundidad se vería cada tema. Las indicaciones adjuntas al temario oficial permitían cierta flexibilidad; pero el tipo de cuestiones que solían aparecer en los exámenes de selectividad, fijaba un marco interpretativo del que no podía prescindirse.

El tema que parecía ofrecer mayor complejidad era, sin duda, el de campos ya que, las dificultades percibidas en otros temas durante el curso anterior, parecían responder más a cuestiones concretas que al tema en su conjunto. Por lo que respecta al tema de campos, de manera singular, se tomaron las siguientes medidas:

(i) Al estudiar el campo electrostático no se dio por supuesto que los alumnos fueran capaces de generalizar lo que habían aprendido al estudiar el campo gravitatorio: había indicaciones del curso anterior en el sentido de que a los alumnos les es bastante difícil generalizar. Cuando llegó el momento de estudiar el campo electrostático, se siguió un proceso consistente en repetir, paso a paso, todo lo que se había visto al estudiar el campo gravitatorio. Por supuesto no se desaprovecharon las ocasiones de hacer ver las múltiples analogías.

(ii) Prácticamente se descartó, en casi todos los casos, el trabajar problemas que requiriesen la utilización de tres ejes de coordenadas. Tanto en los ejemplos propuestos, como en los razonamientos, se hizo referencia a situaciones que podían ser tratadas satisfactoriamente sin salir del plano. Sólo cuando se llegaba al final de los temas se trataba algún caso en el espacio de tres dimensiones.

(iii) Se dedicaron algunas actividades de clase a ilustrar el sentido de la integración y de la diferenciación, así como de los casos en que es preciso acudir al cálculo diferencial. La finalidad de estas actividades no era conseguir mayores habilidades en los procedimientos de cálculo a la hora de resolver problemas, sino, más bien, facilitar la identificación de los casos, las condiciones o las situaciones en que era preciso acudir

al cálculo integral; se pretendía también que, en esas situaciones, los alumnos se entrenaran en elegir con acierto las variables que convenía diferenciar.

(iv) Finalmente, se dedicó más tiempo que en el curso anterior al tema de los campos, y bastante menos tiempo al tema de la corriente continua y del movimiento armónico simple.

(v) Ya se ha hecho referencia anteriormente a la adopción de un libro de texto. El elegido tenía una amplia gama de ejercicios numéricos, unos de simple aplicación y otros más complejos. Se trabajaron más de la mitad de los ejercicios del libro, así como otros complementarios que se prepararon teniendo en cuenta la situación concreta de la clase. Todo ello supuso un número de ejercicios trabajados considerablemente mayor al del curso anterior.

Además de los cambios mencionados, relacionados con el tema de campos, se desarrolló también, con mayor amplitud, el tema del movimiento ondulatorio, prestando particular atención a la propagación de estos movimientos en los medios elásticos. Se procuró enlazar este punto con lo visto en la elasticidad.

3.4.2.1. Clasificación de las cuestiones y de las respuestas

En la clasificación de cuestiones y respuestas se ha seguido el procedimiento descrito en 3.4.1.1. Al principio de la parte II del Anexo III se indica el número de alumnos

que intervinieron en cada examen. En esa misma parte y anexo figuran, numeradas por orden de aparición en las distintas pruebas, las cuestiones de examen. A continuación de cada una de ellas se indica la evaluación en que aparecieron y el porcentaje de respuestas correctas, incorrectas y no dadas a la misma cuestión.

Como en el caso de los grupos A87 y B87, se ha procedido también, para los grupos A88 y B88, a ordenar las cuestiones del Anexo III, parte II, según los porcentajes de respuestas correctas, incorrectas y no dadas. Los resultados aparecen en la Tabla XXIII. En ella se han ordenado las cuestiones por orden decreciente de porcentajes en el caso de respuestas correctas, y por orden creciente en los otros dos casos.

Todos los alumnos respondieron a la cuestión 51. En el caso de las 55 cuestiones restantes se ha calculado el cociente entre el porcentaje de respuestas incorrectas y el de respuestas no dadas. Los resultados están en la Tabla XXIV. Comparando esta tabla con la XX, su homóloga para los grupos A87 y B87, puede verse que la razón entre respuestas incorrectas y no dadas es mayor, generalmente, en el caso de los alumnos del curso 88/89.

3.4.2.2. Reflexión sobre la actuación global de los alumnos

(i) Los porcentajes medios de alumnos, según el tipo de respuestas que dan, se encuentran en la Tabla XXV. Los

TABLA XXIII.- Ordenación de la cuestiones de examen (problemas) según el porcentaje de respuestas de los grupos A88 y B88.

1	51	(81.8)	18	(16.1)	51	(0.0)
2	18	(74.2)	51	(18.2)	43	(2.3)
3	43	(72.7)	40	(20.0)	52	(2.3)
4	53	(70.5)	37	(21.8)	42	(4.5)
5	28	(65.5)	43	(25.0)	45	(4.5)
6	20	(54.8)	53	(25.0)	53	(4.5)
7	9	(54.7)	38	(27.3)	28	(5.5)
8	52	(52.3)	48	(27.3)	4	(6.3)
9	44	(47.7)	9	(28.1)	5	(6.3)
10	21	(46.8)	15	(29.0)	46	(6.8)
11	19	(43.5)	28	(29.0)	18	(9.7)
12	34	(41.8)	39	(30.9)	20	(9.7)
13	10	(40.6)	21	(32.2)	1	(10.9)
14	4	(39.1)	44	(34.1)	2	(10.9)
15	5	(39.1)	20	(35.5)	34	(10.9)
16	49	(38.6)	8	(37.5)	19	(11.3)
17	15	(37.1)	55	(38.6)	49	(11.4)
18	55	(36.4)	14	(38.8)	3	(12.5)
19	42	(31.8)	10	(39.1)	35	(12.7)
20	14	(30.6)	17	(40.4)	36	(14.5)
21	54	(29.5)	26	(43.5)	9	(17.2)
22	8	(28.1)	27	(43.5)	44	(18.2)
23	47	(27.3)	19	(45.2)	29	(20.0)
24	45	(25.0)	33	(45.4)	10	(20.3)

TABLA XXIII.- Continúa

25	22	(21.0)	47	(45.4)	21	(21.0)
26	56	(20.5)	52	(45.4)	22	(21.0)
27	3	(20.3)	41	(45.5)	54	(22.7)
28	13	(20.3)	16	(46.8)	11	(23.4)
29	29	(20.0)	34	(47.3)	55	(25.0)
30	33	(18.2)	56	(47.7)	30	(25.5)
31	39	(16.4)	54	(47.8)	23	(25.8)
32	31	(14.5)	31	(49.1)	24	(25.8)
33	48	(13.6)	49	(50.0)	13	(26.6)
34	23	(12.9)	32	(50.9)	47	(27.3)
35	1	(12.5)	13	(53.1)	25	(29.0)
36	2	(12.5)	4	(54.6)	14	(30.6)
37	25	(11.3)	5	(54.6)	56	(31.8)
38	30	(10.9)	22	(58.0)	6	(32.8)
39	37	(9.1)	50	(59.1)	7	(32.8)
40	40	(9.1)	25	(59.7)	12	(32.8)
41	24	(8.1)	29	(60.0)	15	(33.9)
42	46	(6.8)	23	(61.3)	8	(34.4)
43	32	(5.5)	12	(62.5)	31	(36.4)
44	35	(5.5)	30	(63.6)	33	(36.4)
45	16	(4.8)	42	(63.7)	50	(36.4)
46	17	(4.8)	6	(65.6)	32	(43.6)
47	11	(4.7)	7	(65.6)	16	(48.4)
48	12	(4.7)	24	(66.1)	39	(52.7)
49	50	(4.5)	3	(67.2)	41	(54.5)

TABLA XXIII.- Continúa

50	36	(1.8)	45	(70.5)	17	(54.8)
51	6	(1.6)	11	(71.9)	26	(56.5)
52	7	(1.6)	1	(76.6)	27	(56.5)
53	26	(0.0)	2	(76.6)	48	(59.1)
54	27	(0.0)	35	(81.8)	37	(69.1)
55	38	(0.0)	36	(83.7)	40	(70.9)
56	41	(0.0)	46	(86.4)	38	(72.7)

La primera columna representa el número de orden. Los números en las columnas 2,4 y 6 corresponden a las cuestiones del Anexo III, parte 2a. Los números entre paréntesis de las columnas 3,5 y 7, representan respectivamente los porcentajes de repuestas correctas, incorrectas y no dadas.

resultados son poco satisfactorios. Por término medio, sólo una cuarta parte de los alumnos responde bien y casi la mitad de ellos da respuestas incorrectas. Este fenómeno es, por lo demás, perfectamente explicable si se tiene en cuenta el bajo nivel terminológico de los alumnos del que se habló anteriormente. Los resultados son, incluso, algo peores que en el curso anterior. El porcentaje de respuestas correctas

TABLA XXIV.- Relación entre los porcentajes de respuestas incorrectas y resp. no dadas. Grupos A 88 y B 88

0	=< R < 1 :	40 , 37 , 38 , 48 , 39 , 17 , 26 , 27 , 41 , 15 , 16 ,
1	=< R < 2 :	8 , 32 , 33 , 14 , 31 , 56 , 21 , 55 , 50 , 9 , 18 , 47 , 44 , 12 , 10 , 13 ,
2	=< R < 3 :	6 , 7 , 25 , 54 , 23 , 30 , 24 , 22 , 29 ,
3	=< R < 4 :	11 , 20 , 19 ,
4	=< R < 10 :	34 , 49 , 28 , 3 , 53 , 36 , 35 , 1 , 2 , 4 , 5 ,
10	< R	43 , 46 , 42 , 45 , 52 , 51 ,

R es el cociente de las respuestas incorrectas por las respuestas no dadas

baja aproximadamente en cuatro puntos. Dada la probable diferencia de capacidad entre las dos promociones (véase pg. 189) no se puede concluir si hubo una recesión en el rendimiento de aprendizaje o si hubo un avance enmascarado por la menor capacidad de los alumnos de la promoción del 88/89

Tabla XXV.- Porcentajes medios de alumnos, grupos A88 y B88, según el tipo de respuestas que dan.

	resp. correcta	r. incorrecta	r. no dada
‡ medio	25.13	48.39	26.49
desv. típica	21.89	17.69	19.06

(ii) Ya se hizo mención de que los grupos A88 y B88 se asemejan en la forma que tienen de abordar los problemas. Utilizan el procedimiento de buscar "fórmulas" adecuadas y aplicarlas (véanse pp.291-294). En el curso 88/89 se insistió aún más, por parte del profesor, en la búsqueda de comprensión de las situaciones, sobre todo porque así parecía aconsejarlo la experiencia del curso anterior. No hubo, al parecer, progresos. Se ha pensado cuál pudiera ser el motivo. Por supuesto no pueden descartarse las razones vistas al tratar este tema en la actuación de los grupos A87 y B87. Los factores mencionados para estos grupos operarían también en los grupos A88 y B88 y su eficacia llegaría hasta el punto de anular la intervención didáctica aplicada a éstos. Sin embargo, no se puede descartar otra hipótesis: la resolución de bastantes de los ejercicios que se propusieron, no requería más que la aplicación de fórmulas; en consecuencia había disonancia entre las recomendaciones

que se hacían para resolver los problemas y los resultados satisfactorios que ofrecía, en la práctica, la aplicación de fórmulas. Esta pauta implícita, gratificante, de acudir a los formularios y obtener buenos resultados, pudo sobreponerse a la pauta explícita, más exigente en cuanto a tiempo y esfuerzo, de analizar detalladamente la situación descrita en el problema. Para entender esto mejor, piénsese que, como se ha dicho antes, la mayoría de los ejercicios se tomaron del libro de texto. En éste, los ejercicios están, generalmente, ordenados por dificultad creciente y tienen como referencia inmediata la teoría que acaba de exponerse. Al parecer, los ejercicios del texto tienen como finalidad aclarar e ilustrar los conceptos expuestos y su resolución es posible, en la mayoría de los casos, aplicando adecuadamente las fórmulas que acaban de estudiarse.

3.4.2.3. Pautas observadas en las cuestiones que obtuvieron peores resultados.

En este apartado se va a proceder de forma análoga a como se hizo en el 3.4.1.3. Se van a analizar las respuestas correspondientes a las 14 cuestiones que obtuvieron menor número de respuestas correctas y a las 14 que obtuvieron mayor número de respuestas incorrectas. En realidad, se van a analizar las respuestas correspondientes a 22 cuestiones, ya que 6 pertenecientes al grupo de las que obtienen menor número de respuestas correctas, están incluidas, también, en el grupo de las que obtienen mayor número de respuestas

incorrectas. Las 22 cuestiones suponen aproximadamente el 40% de la totalidad.

3.4.2.3.1. Campos gravitatorio y eléctrico

(i) El tema de campos aparece por primera vez en la 2ª evaluación.

a) En primer lugar, se les presenta a los alumnos una situación en la que 4 masas, que se suponen puntuales, están situadas en los 4 vértices de un rectángulo. En concreto había que calcular campos, potenciales y energía necesaria para efectuar ciertos desplazamientos dentro del campo. Casi ninguno de los alumnos tiene en cuenta los aspectos de simetría que aparecen en la situación y que, de tenerse en cuenta, hacen bastante simple la respuesta a algunas de las cuestiones.

Entre las pautas de error más extendidas están las siguientes:

-- 15% de los alumnos tienen una especie de fijación en la expresión $V_{ab} = GM (1/r_a - 1/r_b)$, al calcular el valor del potencial, pero son incapaces de realizar las oportunas sustituciones de letras por números.

-- Otro 15% no parecen haber comprendido la relación entre diferencia de potencial y energía, ya que no utilizan el primero de estos conceptos para calcular energías.

-- 21% de los alumnos interpretan la situación de manera muy parcial y no tienen en cuenta todos los elementos que intervienen en ella. En concreto, por lo que respecta a las cuatro masas presentes en la situación, cuatro alumnos tienen en cuenta sólo una, ocho tienen en cuenta sólo dos y uno tiene en cuenta sólo tres.

b) Ningún alumno responde bien a las cuestiones 26 y 27. Estas, relacionadas entre sí, plantean el problema de hallar el campo creado por una distribución continua de carga. Más de la mitad de los alumnos, 35, no abordan el problema. Entre quienes lo hacen, pueden observarse algunas pautas de error comunes a varios alumnos.

-- 23% de los alumnos tratan el problema como si toda la carga positiva estuviera concentrada en un punto y la negativa en otro. Escogen esos puntos de forma arbitraria y, por supuesto, no hacen ningún tipo de utilización del cálculo integral.

-- 6% de los alumnos escriben expresiones matemáticas tomadas del cálculo diferencial, pero no las aplican a las variables que deben ser tenidas en cuenta, ni tampoco tienen presentes la dirección y el sentido, al tratar la diferencial de una magnitud vectorial.

(ii) En la prueba de suficiencia hay otras dos cuestiones, relacionadas con campos, en las que también se obtienen malos resultados.

a) Una de ellas, la 46, pide calcular el valor del campo eléctrico en un punto determinado. Hay un 86.4% de respuestas incorrectas. Las pautas de error más frecuentes son éstas:

-- 43% de los alumnos no dibujan tipo alguno de diagrama vectorial; 18% lo dibujan de forma incorrecta.

-- 25% de los alumnos calculan el valor de la fuerza con que interactúan las cargas dadas, en vez de calcular el campo creado por ellas.

-- 30% de los alumnos no hallan las componentes de los vectores y dan como valor del campo la suma de sus módulos.

-- 9% hallan las componentes, pero no tienen en cuenta sus signos al sumarlas.

-- Otro 9% toman mal el valor de los ángulos.

b) En la cuestión 50 se pide calcular la velocidad de un satélite que gira en órbita circular bajo la acción del campo gravitatorio de la Tierra. Un tercio de los alumnos no responde a la cuestión. Entre quienes responden aparecen estas pautas incorrectas:

-- 20% de alumnos igualan la energía cinética a la potencial; calculan la segunda y deducen a partir de ahí el valor de la velocidad. Este proceso es una aplicación irreflexiva y fuera de lugar de algo que han visto en otro

tipo de problemas relativos a situaciones en que toda la energía cinética se transforma en potencial y viceversa.

-- Otro 20% creen que la velocidad que se les pide es la velocidad de escape y calculan ésta.

3.4.2.3.2. Movimiento armónico simple

Cuatro, de las cinco cuestiones sobre movimiento armónico simple, incluidas entre las 22 que se estudian, aparecen en la 1ª evaluación, y una en la 3ª.

(i) Al analizar conjuntamente estas cuestiones, puede verse que los malos resultados de los alumnos se deben más a deficiencias básicas que al desconocimiento del movimiento armónico simple. Esto puede comprobarse al estudiar las pautas de error y al tener en cuenta que la cuestión 8, que requiere un razonamiento cualitativo sobre dicho movimiento, obtiene un porcentaje de respuestas correctas que está por encima de la media.

-- Se pedía a los alumnos que, en el caso de un cuerpo sometido a un movimiento armónico simple, relacionaran el desplazamiento máximo, a partir de la posición de equilibrio, con velocidad máxima. Una pauta frecuente: 30 de los 64 alumnos no llegan a formular ninguna expresión que manifieste las relaciones pedidas. Definen, generalmente bien, las dos magnitudes que deben ponerse en correspondencia; pero no las consideran conjuntamente. Hay que tener en cuenta que la conexión pedida no se había

considerado explícitamente en clase, precisamente porque se deseaba que los alumnos se ejercitaran en el descubrimiento de relaciones sencillas.

-- Se pedía también relacionar frecuencia y amplitud. Llama la atención el que, en el 14% de los casos, los alumnos no acudieran, para responder, a su experiencia de laboratorio, sino a intuiciones en último término erróneas. Al trabajar con muelles oscilantes se había realizado, como ejercicio, la comprobación de que la amplitud de oscilación del sistema bloque+muelle no dependía de la masa ni de "k" - cosas que afectan a la frecuencia- sino de las condiciones iniciales. En los comentarios que se hicieron en el laboratorio, grupo por grupo, pareció quedar claro que los alumnos habían comprendido bien la situación. 9% de ellos, sin embargo, afirman que, a mayor amplitud, mayor frecuencia; 5% afirman justo lo contrario.

-- Los errores de la cuestión 6 son de otra índole. Se trata de un proyectil, cuya masa no aparece entre los datos, que, al impactar, pone en movimiento a un sistema bloque+muelle. El error más frecuente, 22 alumnos de los 64, consiste en tomar el valor de la masa del bloque como valor de la masa del proyectil. Casi todos los alumnos que proceden así, afirman que la energía cinética del proyectil se transformará, en todo o en parte, en energía potencial elástica; pero, en vez de expresar sus resultados en función de la masa del proyectil, desconocida, utilizan para sus

cálculos el único dato que hace referencia a masas: la masa del bloque. Además de esta pauta generalizada, hay otra menos recurrente -sólo 5 casos- consistente en confundir el movimiento armónico simple con el movimiento ondulatorio.

-- La cuestión 7 está relacionada con la que se acaba de comentar: se pide calcular el tiempo transcurrido desde el impacto hasta que se detiene por primera vez el bloque. La pauta de error más frecuente es la misma que en la cuestión 6. Alumnos que comprenden que la solución pasa por hallar el período, desconsideran por completo el valor de la masa del proyectil incrustado, al efectuar los cálculos pertinentes.

(ii) En la 3ª evaluación, cuestión 38, se aborda de nuevo el movimiento armónico simple. La cuestión, junto con otras 3, está referida a una situación en que se presenta un péndulo simple. Es muy alto el porcentaje de alumnos que no contesta a ese bloque de cuestiones. En el caso de la cuestión 38, se trata del 73%. Son pocas, pues, las respuestas dadas y, entre ellas, no se ha podido identificar ninguna pauta de error que sea común a varios alumnos.

3.4.2.3.3. Movimiento ondulatorio

(i) Hay dos cuestiones relacionadas con el movimiento ondulatorio que aparecen en la 1ª evaluación.

a) En la cuestión 11 se pide escribir la ecuación de una onda. Las respuestas incorrectas llegan al 72%. Pueden

detectarse, además, unas pautas muy generalizadas. De los 64 alumnos:

-- 23% escriben bien la función de una onda, pero no sustituyen las respectivas letras por los números adecuados.

-- 28% utilizan, para expresar la amplitud, un valor doble del que debieran haber utilizado.

-- 8% escriben defectuosamente la función general para las ondas.

-- 8% confunden el movimiento ondulatorio con el armónico simple.

b) En la cuestión 12 se pregunta por la velocidad máxima que experimentarán, en sus oscilaciones, las partículas del medio por el que se propaga una onda. Hay varias pautas de error que son completamente individualizadas, pero hay otra, sin embargo, que aparece en el 14% de los casos. Se trata de una mala comprensión, o de un uso equivocado, del proceso de derivación.

(ii) En la 2ª evaluación, y en la cuestión 17, se pide a los alumnos que relacionen la velocidad de propagación de una onda y la velocidad con la que vibran las partículas del medio por el que se propaga. Más de la mitad de los alumnos no contesta a ello. Solamente hay una pauta de error que aparece en más de una ocasión: dos alumnos creen que una

mayor velocidad de propagación de la onda supone mayor velocidad de las partículas.

(iii) En la 3ª evaluación se pide, de nuevo, escribir la ecuación de una onda cuyas características son conocidas. No responden algo más de la mitad de los alumnos. Entre quienes lo hacen se dan las siguientes pautas:

-- 7% de los alumnos, escriben la ecuación general de una onda, pero no hacen las sustituciones oportunas.

-- Otro 7% dan a la amplitud un valor que es el doble de lo que le corresponde.

-- 13% confunden movimiento ondulatorio y movimiento armónico simple y emplean para describir a aquél las expresiones matemáticas correspondientes a éste.

3.4.2.3.4. Elasticidad

(i) En la 1ª evaluación, cuestión 1, se pide relacionar el módulo de Young y la constante de la ley de Hooke.

-- 47% de los alumnos, definen bien, por separado, las dos magnitudes mencionadas; sin embargo, no dicen absolutamente nada que pueda expresar algún tipo de relación entre una y otra.

-- 19% de los alumnos llegan a una expresión matemática que pudiera poner de manifiesto la relación, pero quedan atrapados en la descodificación de los símbolos; no llegan a

ver que dos símbolos distintos, empleados en clase para representar la misma magnitud, tienen el mismo significado.

(ii) En la 2ª evaluación, cuestión 16, se pide relacionar la deformación de un muelle y el módulo de cizalladura. No hay ninguna pauta repetida salvo el que, en tres casos, se dan bien las definiciones de las magnitudes en cuestión, pero no se procede a buscar relaciones.

(iii) En la prueba de suficiencia hay dos cuestiones a considerar.

a) Se pide en la cuestión 42 calcular la tensión normal de una tira elástica, de uno de cuyos extremos pende una masa. Los alumnos parecen conocer bien el tema, pero fracasan por culpa de sus deficiencias matemáticas: 55% de los alumnos no calculan bien la sección transversal; 27% la confunden con el volumen; 14% toman la sección longitudinal en vez de la transversal y otro 14% emplean otros tipos de cálculos equivocados.

b) En las respuestas a la cuestión 45 puede verse que los alumnos no tienen realmente claro que el módulo de Young es una característica de los materiales, aunque, curiosamente, en otros contextos parecen tenerlo en cuenta; así sucede, por ejemplo, cuando preguntan cuánto vale Y para tal o cual material. 39% de los alumnos dicen expresamente que Y es una función -función de proporcionalidad para la mayoría de ellos- de la fuerza que produce la tensión; lo

afirman así, sin intentar justificar, en modo alguno, sus afirmaciones. Por otra parte, 34% de los alumnos se embarcan en cálculos, utilizando los datos del enunciado, para hallar el valor que tomaría Y al cambiar la fuerza.

3.4.2.3.5. Condensadores

En la 3ª evaluación hay un bloque de tres cuestiones relacionadas con los condensadores. El cálculo de la capacidad equivalente de varios condensadores no está entre las cuestiones con peores resultados. El porcentaje de respuestas correctas que se consigue está bastante por encima de la media. Hay, sin embargo, una pauta de error bastante común que aparece en el 25% de los casos: se utiliza la apariencia superficial del dibujo del circuito, como criterio para determinar si dos condensadores están en paralelo o en serie. Quienes proceden así creen que están en paralelo condensadores, que de hecho están en serie, cuando el circuito se dibuja en forma de paralelogramo y se colocan unos condensadores en la parte superior y otros en la parte inferior del mismo. Esto aconteció, además, a pesar de haberse advertido en clase, en más de una ocasión, que había peligro de interpretar falsamente los diagramas que representaban los circuitos y que era preciso, por lo mismo, prestar atención y razonar.

En las cuestiones 35 y 36 se pide calcular la carga almacenada por un condensador; en el primer caso, un condensador en serie con otros; y, en el segundo caso, un

condensador en paralelo. Hay una pauta de error que se extiende al 65% de las respuestas: los alumnos consideran que la diferencia de potencial, existente entre las armaduras del condensador que se considera, es la misma que la existente entre los terminales del circuito. Para ellos, la diferencia de potencial no es algo relacionado con dos puntos concretos del circuito, sino una característica general de éste.

3.4.2.3.6. Circuitos de corriente continua

En la evaluación 3ª hay dos cuestiones relacionadas con un circuito determinado.

a) En la cuestión 30 se pide calcular la intensidad de la corriente que pasa por una resistencia que esté en paralelo con otra. 38% de los alumnos manifiestan una pauta de error bien concreta: se trata de que, al calcular la corriente, tienen en cuenta solamente los elementos más próximos al punto en cuestión y no la totalidad del circuito como sistema. Shipstone et al. (1988) llaman "razonamiento local" a esta pauta y hablan de "una tendencia general de los alumnos a ocuparse en «razonamiento local», enfocando su atención completamente en lo que sucede en un punto del circuito e ignorando por completo lo que pueda estar sucediendo en otros puntos" (l.c. pg. 310). Este comentario lo hacen a propósito de un estudio realizado en varios países europeos. Contrariamente a lo que ocurre con otras pautas de error, que persisten obstinadamente, ésta pareció

corregirse bastante bien. En efecto, en la prueba de suficiencia se presentó una cuestión muy similar a la que se está comentando y sólo el 18% de los alumnos utilizaron el razonamiento local.

b) En la cuestión 32 se pide calcular la energía, cedida o absorbida, por unidad de tiempo, por un generador. Las pautas de error más frecuentes son éstas:

-- 11% de los alumnos utilizan expresiones inadecuadas de la potencia, con lo cual no llegan a la respuesta correcta.

-- 16% suman los valores de la fuerza electromotriz de todos los generadores del circuito, sin tener en cuenta el sentido en que están los polos de éstos; más aún, una tercera parte de esos alumnos deja entrever que no comprende el hecho de que absorba energía, por ejemplo, una batería que se está cargando.

-- Al menos en el 15% de los alumnos se pudo comprobar que no distinguían con nitidez entre fuerza electromotriz y diferencia de potencial entre dos puntos determinados. Para ellos, la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera del circuito debe ser igual a la suma de las fuerzas electromotrices de todos los generadores.

Comparando estos resultados con los de la prueba de suficiencia puede constatararse que, mientras perdura la pauta de no tener en cuenta la polaridad de los generadores -9

alumnos en la 3ª evaluación, frente a 7 en la prueba de suficiencia- se aclaran los conceptos de fuerza electromotriz y diferencia de potencial entre dos puntos determinados : al menos 8 alumnos confunden estos conceptos en la 3ª evaluación y sólo 2 los confunden en la prueba de suficiencia.

3.4.2.4. Indicaciones sobre el grado de dificultad que experimentan los alumnos

La Tabla XXVI tiene para los grupos A88 y B88 la misma función que su análoga, la Tabla XXII para los grupos A87 y B87: indica de algún modo, en primera aproximación, dónde residen las dificultades encontradas por los alumnos.

Tabla XXVI.- Presentación comparativa de las 56 cuestiones del Anexo III, parte II, según temas

Temas	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Campos	17	30.4	3	17.6	2	11.8
Circuitos c.c.	10	17.9	1	10.0	1	10.0
Mov. arm. simple	9	16.1	3	33.3	4	44.4
Mov. ondulatorio	9	16.1	4	44.4	2	22.2
Elasticidad	8	14.3	1	12.5	3	37.5

Condensadores	3	5.4.	2	66.7	2	66.7
---------------	---	------	---	------	---	------

La columna (1) representa el número de cuestiones en que se aborda el tema; la (2) el porcentaje de cuestiones sobre el total de 56; la (3) el número de cuestiones sobre el tema, que se encuentran entre las 14 con peores resultados; la (4) el porcentaje relativo, esto es, el cociente entre los números que figuran en la columna (3) y en la (1), multiplicado por 100; la (5) el número de cuestiones sobre el tema, que se encuentran entre las 14 con mayor porcentaje de respuestas incorrectas y la (6) el porcentaje relativo: cociente de los números en columnas (5) y (1) multiplicado por 100.

Aunque el número de cuestiones y la frecuencia con que se distribuyen los temas no coinciden en las tablas XXVI y XXII, hay, no obstante, amplias zonas en las que es posible establecer comparaciones y así se hará en la sección siguiente.

La falta de coincidencia, en cuanto a distribución y tipo de cuestiones, se debe a que los exámenes, cuyos resultados acaban de comentarse, se prepararon más con la vista puesta en las necesidades de la docencia que en lo que hubiera podido facilitar la investigación. Esto es parte del precio que había que pagar si se querían utilizar las respuestas de examen tal como habían sido escritas en una prueba típica. Por otra parte, el hecho de que hubiera una prueba menos, en el caso de los grupos A88 y B88, hizo necesaria una redistribución algo diferente de las cuestiones.

3.4.3. Comparación entre las promociones del año 87 y del
año 88

3.4.3.1. Analogías en las respuestas a las cuestiones con
menor éxito

Al comparar las Tablas XXII y XXVI pueden observarse algunas analogías:

(i) El tema de condensadores, según ambas, es de los que peores resultados obtienen. Los alumnos de ambas promociones manifiestan, además, la misma pauta de error: toman como diferencia de potencial entre las armaduras del condensador la misma que existe entre los terminales del circuito en que se encuentra aquél; con el agravante, en los grupos A88 y B88, de que actúan así, a pesar de haber recibido instrucción especial en este punto. La coincidencia de la pauta y la persistencia de ésta, sugieren que es difícil para los alumnos formarse una idea de cómo se dan las diferencias de potencial en los circuitos con condensadores.

(ii) El tema de circuitos de corriente continua es, entre todos los temas, el que sale mejor parado en ambos cursos. Podría pensarse que los alumnos llegan a comprenderlo relativamente bien.

(iii) El tema de la elasticidad, junto con el del movimiento ondulatorio, ocupan un lugar intermedio. Varias pautas de error en la contestación a estos temas son también

similares en ambas promociones: cálculo defectuoso de magnitudes geométricas por lo que respecta a la elasticidad, y traducción mala, al lenguaje de las matemáticas, de los datos con que se describe, en lenguaje ordinario, la amplitud de las ondas.

(iv) A pesar de las diferencias, en el tema de campos, hay algunas pautas de error que son comunes a los alumnos de ambas promociones. Lo que más destaca es el tratamiento equivocado del carácter vectorial del campo gravitatorio y electrostático. Esto se manifiesta, en concreto, al calcular la resultante de un campo debido a varias cargas o masas y al dibujar las representaciones vectoriales que facilitan la solución de ese problema.

3.4.3.2. Diferencias en las respuestas a las cuestiones con menor éxito

Frente a las analogías que acaban de señalarse, hay dos diferencias notables: el tema de campos, en el que se habían dado los peores resultados en el curso A87 y B87, se sitúa con resultados relativamente buenos en los grupos A88 y B88. En contrapartida, el tema del movimiento armónico simple experimenta el fenómeno contrario.

(i) Pudiera pensarse que la mejora de resultados, obtenida en el tema de campos, se debió a las modificaciones introducidas en el proyecto didáctico y en su desarrollo. Pero bien cabe pensar que las cuestiones presentadas a los

alumnos de los grupos A88 y B88 eran más sencillas que las de sus compañeros de la promoción anterior. De hecho, los efectos que pueden producir los cambios introducidos en el tratamiento de un tema, son muy relativos. Welch (1985), después de estudiar los metaanálisis sobre la investigación a este respecto, indica: "los efectos debidos a las distintas estrategias docentes son desalentadoramente bajos... la influencia de lo que hace el profesor en la clase aparece muy pequeña" (citado por Preece (1988), pg.581). Como ilustración de la afirmación de Welch, puede recordarse lo indicado en párrafos anteriores a propósito de los condensadores y del movimiento ondulatorio: el interés especial puesto en las explicaciones y las advertencias hechas en clase, tuvieron poco éxito. La mejora de resultados, que, sin duda, existe en el tema de campos, puede explicarse por el hecho de que no hay ninguna cuestión, propuesta a los grupos A88 y B88, que necesite para su respuesta el manejo del espacio tridimensional. Piénsese que una de las dificultades que presenta el tema de campos es el de las representaciones espaciales.

(ii) Hay empeoramiento de los resultados en el tema del movimiento armónico simple. De hecho este tema se vio mucho más deprisa con los alumnos de los grupos A88 y B88 que con los del curso anterior, porque los resultados obtenidos durante este curso hacían pensar que el tema no ofrecía mayores dificultades. El empeoramiento, teniendo esto en cuenta, puede explicarse por lo que Preece (1988) llama el

"principio cuantitativo de la enseñanza" y que enuncia así:
"el enseñar más lleva a aprender más" (l.c. pg. 583).

3.4.3.3. Comparación, teniendo en cuenta los resultados
medios para la totalidad de las cuestiones

Cuando se valora la problematicidad de los temas sólo por el porcentaje de cuestiones relacionadas con ellos, que se encuentran entre las que obtienen peores resultados, se ofrecen indicios sobre dificultades relativas -cuáles son los temas menos problemáticos y cuáles los más-. No obstante, conviene refinar el procedimiento porque, tal como se ha empleado, sólo tiene en cuenta un grupo de cuestiones -las que obtienen peores resultados- y no toma en consideración la totalidad de los datos. Para mejorar esto se ha hecho un estudio comparativo de todas las cuestiones. Se ha calculado, para los grupos A87 y B87 por una parte y para los grupos A88 y B88 por otra, el porcentaje medio de respuestas correctas y la correspondiente desviación típica, teniendo en cuenta todas las cuestiones relacionadas con los seis temas que son comunes a ambas promociones de alumnos. Los resultados están en la Tabla XXVII. Se ha hecho también un cálculo semejante, pero referido al porcentaje de respuestas incorrectas. Los resultados están en la Tabla XXVIII. Al comparar los resultados de los cursos 87/88 y 88/89, no interesan tanto los valores medios que se obtienen en cada uno de los temas, cuanto la posición relativa que

pasa a la pg. 342

TABLA XXVII.- Porcentajes y desviaciones típicas en respuestas correctas a los temas que se indican

Temas	A87 y B87		A88 y B88	
	med.	d.t.	med.	d.t.
Campos	10.8	9.4	25.4	21.3
Circuitos de c.c.	59.4	16.9	36.9	28.0
Condensadores	27.7	25.1	16.4	22.1
Elasticidad	37.1	16.6	34.1	21.2
Movimiento armónico simple	33.4	20.1	11.0	9.5
Movimiento ondulatorio	16.2	4.0	20.7	19.3

TABLA XXVIII.- Porcentajes y desviaciones típicas en respuestas incorrectas a los temas que se indican

Temas	A87 y B87		A88 y B88	
	med.	d.t.	med.	d.t.
Campos	60.2	8.5	46.9	17.1
Circuitos de c.c.	32.1	15.4	43.4	14.8
Condensadores	60.4	23.2	70.9	20.5
Elasticidad	59.0	18.7	53.2	17.6
Movimiento armónico simple	37.7	16.1	45.8	22.5
Movimiento ondulatorio	66.3	3.6	47.4	13.4

En las Tablas XXVII y XXVIII, las columnas 1 y 3 representan porcentajes medios; las columnas 2 y 4, desviaciones

ocupan, unos temas respecto a otros, en virtud de esos valores medios. La razón es que se busca un indicador del grado de problematicidad de los temas, y no una descripción del nivel de cada curso en particular. Con otras palabras, para los fines de este trabajo no interesa mucho saber si un grupo obtiene mejores resultados que otro; interesa más la relación que guardan los resultados entre sí dentro de cada grupo.

(i) La comparación de los resultados de las dos promociones, según aparecen en las tablas XXVII y XXVIII, no es totalmente conclusiva, pero ofrece aspectos interesantes. Si se ordenan los temas según el porcentaje de respuestas correctas -ocupa el primer lugar el que obtiene mayor porcentaje- e incorrectas -ocupa el primer lugar el que obtiene menor porcentaje- aparece el siguiente cuadro:

a) Serían precisas 6 inversiones en la Tabla XXVII y 3 en la Tabla XXVIII, para que, siguiendo los criterios establecidos en el párrafo anterior, los temas quedaran ordenados de la misma manera, en el caso de ambas promociones.

b) El tema de circuitos de corriente continua es el que consigue mayor porcentaje de respuestas correctas y menor de respuestas incorrectas en el caso de las dos promociones.

c) El tema de la elasticidad ocupa un segundo lugar, en los dos años, por lo que respecta a respuestas correctas,

e se sitúa en los lugares 3 y 5, según los años, por lo que respecta a respuestas incorrectas.

d) El tema del movimiento armónico simple ocupa, en los años, el segundo lugar por lo que se refiere a estas incorrectas, aunque su posición varía en el ordenamiento de respuestas correctas: 3ª posición el primer año y 6ª en el segundo.

e) El tema del movimiento ondulatorio se encuentra siempre en la segunda mitad de ambos ordenamientos: posiciones 5ª y 4ª, según los años, por lo que respecta a respuestas correctas y posiciones 6ª y 4ª por lo que respecta a las incorrectas. Asimismo, el tema de los péndulos, se encuentra siempre en la segunda mitad de los ordenamientos: posiciones 4ª y 5ª por lo que respecta a respuestas correctas y posiciones 5ª y 6ª por lo que toca a las incorrectas.

f) El tema de campos es el que ofrece mayores variaciones.

(ii) Las tablas XXVII y XXVIII comparan la valoración de las distintas actuaciones de los alumnos; en concreto, su forma de resolver los problemas en un examen. Pues bien; estas actuaciones están influenciadas por múltiples factores, de los que pueden contarse: el interés que tienen los alumnos por el tema, el proceso didáctico seguido durante la enseñanza del mismo, el intervalo de tiempo transcurrido

entre la última vez que los alumnos estuvieron estudiando el tema y el momento en que escriben el examen, el grado de dificultad que presenta el enunciado de la cuestión, el grado de conocimiento de otras materias -como las Matemáticas, que se requieren para resolver el problema- la situación coyuntural del alumno mientras escribe el examen, etc. El hecho de que, a pesar de todos estos factores, se mantengan bastantes semejanzas en el orden relativo que guardan entre sí los temas, cuando se ordenan por el porcentaje de aciertos o fracasos, sugiere que hay uno o varios factores, intrínsecos a los mismos temas, que pueden explicar las analogías en los ordenamientos. En principio, puede pensarse en diversos tipos de factores: dificultad de los temas para ser conceptuados, capacidad para suscitar el interés del alumno, relación con la vida ordinaria de los alumnos, sintonización con sus motivaciones, etc. El trabajo realizado no permite concluir el tipo de factor de que se trata; no obstante, la comparación de las pautas de error, de la que se habla a continuación, puede dar algo más de luz.

3.4.3.4. Algunas pautas de error repetidas en ambas promociones

En las secciones 3.4.1 y 3.4.2 se han descrito pautas de error comunes a varios alumnos. El mero hecho de que una pauta de error determinada sea común a varias personas, a pesar de que el número de tales pautas puede ser, en teoría,

ilimitado, apunta a la existencia de un factor, distinto del azar, que explique la existencia de dicha pauta. La hipótesis de la existencia de ese factor -o factores- adquiere cierta consistencia, cuando se ve que las pautas se repiten de forma casi idéntica, durante dos promociones sucesivas. La hipótesis se hace mucho más plausible cuando, no sólo se da la repetición de pautas en las dos promociones, sino que éstas se producen, a pesar de haber realizado esfuerzos didácticos para evitar que los alumnos de la segunda promoción incidieran en los mismos fallos que los de la primera.

La experiencia del curso 87/88 sirvió para modificar algunos aspectos del proceso de enseñanza y aprendizaje a lo largo del curso 88/89. Una de las modificaciones consistió en advertir a los alumnos, en varias ocasiones, sobre el peligro que tenían de cometer determinados errores. A pesar de ello, se pudo observar que ciertos alumnos los cometían, como si no se hubiera tomado ninguna precaución para evitarlo.

(ii) Entre las pautas repetidas se van a citar nueve, comunes a grupos de ambas promociones. Las nueve están entresacadas del grupo reducido de cuestiones en las que los alumnos obtienen peores resultados.

1ª) No se tiene en consideración el carácter vectorial del campo electrostático y gravitatorio. Cuando los alumnos tienen que calcular el valor, en un punto, del campo debido

a la presencia de varias cargas o masas, suman escalarmente -no vectorialmente- la contribución de cada una de ellas al valor del campo.

2ª) Cuando se pide hallar el campo creado por una distribución discreta de cargas o masas, hay alumnos que dibujan, de forma defectuosa, el diagrama vectorial correspondiente; hay también alumnos que no llegan a elaborar ningún tipo de representación.

3ª) Se detecta, en varios alumnos, una pauta consistente en considerar, de forma fragmentaria, las situaciones en las que intervienen varias cargas o masas. En concreto, estos alumnos, al calcular el valor del campo, tienen en cuenta sólo una o alguna, pero no todas las cargas o masas presentes.

4ª) Hay alumnos que escriben bien la ecuación general del movimiento ondulatorio, pero sustituyen mal los símbolos literales por los datos numéricos correspondientes.

5ª) Varios alumnos toman como amplitud, en el movimiento ondulatorio, un valor doble del que deberían haber tomado.

6ª) Cuando se pide la expresión de la velocidad y aceleración con la que se mueven las partículas de un medio por el que se propaga una onda, hay alumnos que llegan a resultados incorrectos por no utilizar bien el cálculo de derivadas.

7*) Aunque algunos alumnos conocen, aparentemente, que el módulo de Young es característico de los materiales, proceden, en la práctica, como si ese módulo dependiera exclusivamente de la tensión aplicada a éstos.

8*) Análogamente, alumnos que, aparentemente, saben que la frecuencia de un movimiento armónico simple no depende de la amplitud del mismo, buscan fórmulas de dependencia.

9*) Un número determinado de alumnos toma, como valor de la diferencia de potencial entre las armaduras de un condensador, el mismo valor de ésta existente entre los terminales del circuito.

(iii) Las pautas primera y segunda pueden estar relacionadas con la dificultad de los alumnos para formar representaciones espaciales. El carácter vectorial, en efecto, y su representación gráfica están asociados a la consideración del espacio, y ya se vio, al estudiar la competencia terminológica de los alumnos, que éstos tenían dificultades en la representación espacial.

La pauta séptima y octava pueden ser debidas a la escasa relación que existe entre algunos conocimientos de los alumnos y a que, dentro de su estructura mental, hay conceptos que están débilmente integrados. Las pautas, en efecto, se explican bien si se supone que los alumnos evocan los conceptos a través del contexto en que los han aprendido y no a través de las relaciones que éstos tienen entre sí.

Las pautas cuarta, quinta y novena ponen de manifiesto la diferencia entre expresar un concepto y aplicarlo. Alumnos que escriben bien la función de onda, definen bien lo que es la amplitud, o escriben correctamente expresiones de la diferencia de potencial entre las armaduras de un condensador, fallan al aplicar a casos concretos los conceptos mencionados.

La pauta sexta es perfectamente explicable si se tienen en cuenta las carencias matemáticas de los alumnos, descritas anteriormente. (Véase la sección 3.3.4).

La pauta tercera puede deberse a la frecuencia con que los alumnos se enfrentan a situaciones ficticias al resolver los problemas, sin tener que verse obligados después, en la práctica, a comprobar lo ajustado de sus previsiones. Posiblemente, los alumnos mejorarían en la percepción y manejo de las situaciones, si los problemas no fueran sólo un ejercicio de papel y lápiz, sino que obligaran a comparar los resultados previstos, a través de los cálculos, con los observados de forma empírica. La constatación de desajustes, en caso de que los hubiera, sería muy fecunda para distinguir cuándo se ha utilizado un procedimiento incorrecto, cuándo ha sido bueno el procedimiento y mala la representación de la situación y qué tipo de aproximación es capaz de producir el procedimiento.

4. SUGERENCIAS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DIDACTICOS

4.1. Los tres niveles del curriculum

Finegold et al. (1988), en un estudio sobre la Física en la educación secundaria canadiense, distinguen tres niveles de curriculum: "El curriculum, tal como es diseñado por la Administración educativa y propuesto para guía de los centros escolares, tal como es percibido por los profesores y traducido a la práctica en el aula, y tal como es interiorizado por los estudiantes y expresado a través de sus logros en las pruebas de Física" (l.c., pg.293).

(i) En el caso español no parece difícil identificar elementos del primer nivel de curriculum, que en lo sucesivo llamaremos "normativo". La Administración educativa ha establecido normas a las que debe ajustarse el curriculum de Física en el último curso de EE. MM. Por lo que respecta al futuro, y después de la promulgación de la LOGSE, es de suponer que aparecerá una normativa ulterior, más o menos detallada, con el fin de regular, tanto lo que respecta a la enseñanza obligatoria, como lo relativo a la enseñanza postobligatoria.

El segundo nivel de curriculum -en lo sucesivo será llamado "curriculum traducido"- necesita quizás algo más de aclaración. Finegold et al. (1988) advierten que este

curriculum "deriva de las percepciones que tiene el profesor sobre lo que pretende promulgar, para el aula, la Administración educativa, tal como consta en los documentos que constituyen el curriculum normativo. Está influenciado por las percepciones que tiene el profesor acerca de los estudiantes, de la disciplina, del entorno y de él mismo en cuanto profesor ... y, como tal, varía en la práctica de un aula a otra" (l.c. pg. 314). La situación española reviste unas características especiales. Algunas son descritas por Gimeno Sacristán (1986): "La Administración, central o autonómica, puede y debe concretar cuál es el contenido y el sentido de un proyecto educativo. Pero pasar de esas definiciones y querer incidir en la realidad, en coherencia con esas propuestas, necesita un trabajo que en nuestro contexto educativo nadie cumple salvo las editoriales, que son las confeccionadoras de materiales didácticos, auténticos diseños de los que depende la actuación de los profesores, y de los que éstos se hacen dependientes cuando no tienen otra alternativa posible. Nuestro sistema educativo se caracteriza por carecer de instancias intermedias de desarrollo curricular que ayuden a los profesores" (l.c., pg. 85).

El tercer nivel del curriculum -en lo sucesivo se le designará por "curriculum conseguido"- se manifiesta en los resultados obtenidos por los alumnos en las distintas pruebas a las que se les somete. Un problema fundamental, relacionado con el curriculum conseguido, radica en valorar

qué medida esas pruebas son válidas; hasta qué punto la
gen emergente de ellas es reflejo de los logros reales de
alumnos.

(ii) Finegold et al. (1988) concluyen el mencionado
bajo con estas afirmaciones: "Los resultados indican la
stencia de interrelaciones entre los tres niveles del
riculum... Aunque la naturaleza del estudio no hace
ible la identificación de relaciones causales, parece
onable el que la pauta de logro refleje las pautas del
riculum propuesto y traducido" (l.c., pg. 315). Sin duda
importante la línea en que parecen estar interesados los
ionados autores: la influencia que tienen el currículum
nativo y traducido en el conseguido. Si los primeros no
luyeran en el último, habría que cuestionar la capacidad
sistema educativo para conseguir los objetivos que
pone la sociedad a través de la Administración educativa.
é sentido tendría, además, proponer un currículum cuyos
stivos no se van a conseguir? Sin embargo, es también
esario considerar, en sentido inverso, las relaciones
re los tres niveles de currículum: ¿cuál debe ser la
luencia del currículum traducido en las posibles
ificaciones del currículum normativo? Más todavía: ¿qué
ne que aportar el currículum conseguido a posibles
ificaciones del currículum traducido y del currículum
nativo? Las interrogantes tienen pleno sentido, porque el
ho de que unos resultados sean malos, no siempre puede
tificarse por la incapacidad relativa de los alumnos; el

fracaso puede ser debido también a una práctica didáctica inadecuada o a que el curriculum normativo está desadaptado a las posibilidades de la población estudiantil para la que se ha establecido. Obviamente, el profesor debe integrar en su diseño de docencia las informaciones sobre la manera en que progresan sus alumnos. La Administración pública, además, si quiere ser realista, tiene que prestar atención a los resultados finales conseguidos en las aulas e integrarlos en las sucesivas revisiones del curriculum normativo.

(iii) Antes se decía que el profesor "traduce" a la práctica del aula el curriculum normativo. Además, entre sus funciones, hay otra de mediación, que conviene destacar. El contacto diario con los alumnos y el ejercicio de su tarea evaluadora le proporcionan una situación privilegiada para valorar éxitos y fracasos. A partir del conocimiento de unos y otros puede hacer sugerencias pertinentes a la Administración con el fin de perfeccionar el curriculum normativo. Haciendo esto, "traduce" también la percepción de posibilidades reales de los alumnos, en un conjunto de expectativas sobre lo que debe ser el curriculum normativo.

Un ejemplo de cómo realizar esto, con cierta sistematicidad, es el trabajo del Seminario Permanente de Física y Química del I.C.E. de la Universidad de Valencia (1983 y 1984). Los componentes del Seminario elaboraron, en un primer trabajo, una encuesta en la que sometían a

consulta un conjunto de criterios que pudieran determinar la elaboración del curriculum. En un segundo trabajo recogieron y analizaron las respuestas para sacar de ahí las conclusiones pertinentes. Trabajos de este tipo son necesarios, aunque sin olvidar que el profesorado de Física no es el único estamento -aunque sea uno de los más importantes- que debe ser oído al elaborar el curriculum normativo; la comunidad disciplinal de físicos, por citar otro estamento, tiene también mucho que decir.

En todo caso, aparte de lo que pueda sugerir el profesorado, no parece sensato prescindir de una línea de investigación que estudie, de manera sistemática, la actuación de los alumnos al enfrentarse con el curriculum normativo y traducido: sus dificultades y problemas, sus éxitos y fracasos y la forma, en general, de convertir los dos curricula anteriores en curriculum conseguido. Esta es la línea que se ha seguido en el presente trabajo. El conocimiento adquirido durante la elaboración del mismo, permite hacer sugerencias que afectan tanto a la práctica docente como al curriculum normativo.

4.2. Alcance de las sugerencias

La limitación más drástica que tiene un estudio de casos, como el que se ha hecho en el trabajo de campo, es la imposibilidad de generalizar. En páginas anteriores se ha

mencionado el tema. No puede inferirse, en buena lógica, que lo que acontece en un centro docente determinado -más en concreto, lo que manifiestan dos promociones consecutivas de alumnos con unas sesenta personas cada una-, sea generalizable a toda la población española. Esto es una cosa bien sabida y, si se dice explícitamente aquí, es para poner nuevamente de manifiesto la intención con que se abordó este estudio: no se trataba de generalizar, sino de explorar. Por ello, las conclusiones del mismo no son tanto puntos de llegada que zanján una discusión, cuanto puntos de partida que ponen de manifiesto y definen, con más precisión, una problemática.

El hecho de que hayan aparecido bastantes pautas comunes a varios alumnos y de que muchas de ellas hayan podido ser observadas durante dos años consecutivos, obliga a admitir la posibilidad de que esas pautas no sean algo puramente idiosincrásico. Este mismo fenómeno revela que es interesante emprender estudios para comprobar el grado de extensión que tienen dichas pautas entre la población estudiantil española del último curso de EE. MM. Un resultado del trabajo realizado ha sido, pues, contribuir - así al menos se espera- a la delimitación y definición de cuestiones que merecen ser investigadas. El trabajo describe un conjunto de factores que explican, en parte, por qué la Física del último curso de EE. MM. fue particularmente difícil para cuatro grupos de alumnos. Entre estos factores están: las deficiencias iniciales en los estudios previos de

los alumnos, que constituyen un primer obstáculo para abordar el temario con garantías de éxito; las inadecuaciones del curriculum normativo que afectan, bien a los contenidos elegidos, bien a los sistemas de evaluación empleados; y las limitaciones de los mismos alumnos que, precisamente por encontrarse en una fase introductoria, tienen sólo los rudimentos de lo que serán habilidades en un científico profesional. Si los cuatro grupos de alumnos estudiados no constituyen un caso atípico de la población española del último curso de EE. MM. -y esta condicional es la que debe ser sometida a ulterior investigación-, el estudio habría permitido identificar un conjunto de factores que explican, parcialmente, el fracaso generalizado en la Física de este nivel.

A continuación se van a hacer algunas sugerencias que afectan al curriculum normativo y traducido. Se piden cambios en los mismos. Las sugerencias responden, por supuesto, al diagnóstico de las promociones estudiadas. La conveniencia de extenderlas a toda la población del último curso de EE. MM. depende, digámoslo una vez más, del grado en que estén extendidos, en esta población, los síntomas que se han detectado en los grupos estudiados.

4.3. Obligatoriedad de la Física y diversificaciones en su curriculum

En el Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza, que se lleva a cabo de forma experimental, la Física es una asignatura obligatoria en el último curso. Sin embargo, esta obligatoriedad es cuestionable, dada la diversidad de intereses de los alumnos y los distintos caminos profesionales que desean emprender. La cuestión, sin embargo, tiene muchas facetas.

(1) Un juicio concreto sobre la valoración de la obligatoriedad debe tener en cuenta la función que se asigne al curriculum de Física. D.P. Newton (1987), por ejemplo, hace ver cómo, el curriculum, puede estar orientado a formar en la Física, a formar a través de la Física y a formar en cuestiones relacionadas con la Física. Es muy distinto el panorama -tanto en lo que concierne a la obligatoriedad de la Física, como en lo que respecta a la selección de contenidos de su curriculum- según se considere la asignatura como un primer paso en la formación de un futuro físico; como un instrumento para la formación general de un individuo que va a necesitar la Física, aun sin ser físico; o como un medio de proporcionar información y estimular actitudes respecto al quehacer de los físicos y a sus consecuencias científicas y sociales, dirigiéndose, en su caso, a unos alumnos que, como dicen Linjse et al. (1990) "crecen en una sociedad tecnológica y democrática y se preparan para desempeñar el papel de consumidores de ciencia y tecnología. Este papel requiere ciudadanos responsables

implicados en los procesos sociales de toma de decisiones relacionadas con valores" (l.c., pg. 97).

Quizás nadie se oponga a que la Física sea una asignatura obligatoria para los alumnos del último curso de EE.MM. que desean ser físicos, o comenzar estudios en determinadas facultades de ciencias o escuelas de ingeniería. La obligatoriedad, sin embargo, no resulta una cosa tan clara en el caso del alumno que desea ser, por ejemplo, economista o seguir alguna rama de las ciencias de la salud. Aun admitiendo el valor formativo general de la Física, no se puede negar que hay también otras asignaturas con valor formativo, aunque puede dudarse que todas tengan el mismo rango y valor. No puede hurtarse, por su dificultad, lo que es básico en la formación.

(ii) Entre la Física, con curriculum único y obligatoria para todos, y la Física, como asignatura completamente optativa, hay bastantes posturas intermedias. Una de ellas es la posibilidad de diversificación en el temario. Logan et al. (1989) hablan, en el caso de Australia, de un temario compuesto por 6 temas, que constituyen un núcleo ("core") obligatorio, más otros 19 temas optativos; el alumno elige tres de estos últimos, teniendo en cuenta que a algunos de los temas optativos se les asigna sólo la mitad del valor y la elección de dos, en esas condiciones, equivale a la elección de uno con valor completo. Otra posibilidad consiste en ofrecer una

diversificación curricular más profunda, en la cual la variación afecta no sólo a la elección de los temas, sino también al tratamiento que se da a éstos, a algunos objetivos generales del curriculum y a los criterios y práctica de la evaluación. La Física, como asignatura, pudiera ser obligatoria; pero los alumnos podrían elegir una modalidad u otra de curriculum.

(iii) Los datos ponen de relieve que hay alumnos con motivación escasa o nula por lo que se refiere al estudio de la Física. Estos, aparte de rendir por debajo de lo que sería deseable en ellos, pueden inducir desmotivación en los compañeros a través de su comportamiento y actitudes, sobre todo cuando hay que enfrentarse a las dificultades reales de la asignatura. Ha podido constatarse, también, que hay una fracción considerable de alumnos que desean seguir estudios en la rama biosanitaria, en la que la Física puede ser un instrumento de trabajo, aunque no, ciertamente, el más importante. Hay también algunos alumnos que desean estudiar carreras de empresariales o económicas, en cuyos planes de estudios no aparece la Física. En contrapartida un grupo, generalmente mayoritario de alumnos, está compuesto por quienes desean continuar estudios técnicos, en los que la Física es un instrumento esencial, aunque instrumento, al fin y al cabo. Una fracción pequeña solamente es la que desea continuar estudios de Física. La consecuencia de todo esto es que no sólo varían los intereses y las motivaciones;

son también diferentes las necesidades de formación de los distintos alumnos.

Dada una situación tan heterogénea, se considera que no es aceptable mantener la práctica actual del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza: Física obligatoria y curriculum único. El abandono de la práctica seguida actualmente puede desembocar en tres alternativas: (1) Física obligatoria para todos los alumnos del Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza, pero con curriculum diversificado; (2) Física optativa para los mismos alumnos, pero manteniendo un curriculum único; (3) Física optativa y curriculum diversificado. Los resultados del presente trabajo avalan la sugerencia de abandonar la práctica actual, aunque no parecen ofrecer base suficiente para elegir definitivamente una de las tres alternativas. Quizás la solución radique en dejar la Física y su curriculum como optativos, al menos en el último curso de la enseñanza secundaria, por lo que respecta a efectos de titulación, pero estableciendo la normativa de que es imprescindible el haber cursado la asignatura -y con una determinada variedad de curriculum- para poder continuar en determinadas ramas de estudios superiores.

4.4. ¿Extensión o intensidad?

(i) La cuestión que se aborda a continuación está referida a la selección aconsejable de contenidos de la Física. No se va a tratar de los "procedimientos" -y aquí se usa este término para "abarcar, en conjunto, habilidades, estrategias, técnicas, métodos, etc." (Valls, 1989, pg.33)-. La cuestión se plantea dentro de unos límites muy restringidos: el de los conceptos y las relaciones entre conceptos. ¿Se opta por incluir en el curriculum un muestrario relativamente amplio de conceptos, tomados de todas las partes de la Física? ¿Se cree, más bien, preferible limitarse sólo a algunas partes de la disciplina y profundizar más en los temas elegidos? En términos generales, con la primera opción se buscaría ofrecer una visión de conjunto, lo más amplia posible, de la Física, limitada sólo por las restricciones que impone el número de horas lectivas de que se dispone y el nivel con que llegan los alumnos. Es de prever que en la medida en que aumenta el número de conceptos propuestos para el aprendizaje, va a resultar más complicado, aunque sólo sea por falta de tiempo, el establecer relaciones múltiples entre todos ellos; con lo cual es posible que algunos conceptos se integren de forma muy débil en la estructura mental del alumno. La segunda opción, por el contrario, buscaría profundizar en algunos temas y conseguir que los alumnos construyeran unas redes conceptuales fuertemente trabadas en torno a ellos. El precio a pagar sería quedarse en una

visión parcial y fragmentaria del campo de la disciplina, con el riesgo de ofrecer una imagen desajustada de la misma.

(ii) Los datos obtenidos parece que inclinan a optar por la intensidad y dejar la extensión, ofrecer un enjambre de conceptos fuertemente relacionados y abandonar el intento de abarcar la totalidad. Esta afirmación se basa en lo siguiente:

a) Se ha visto que existe una gran diferencia entre el bagaje de conceptos de Física, con que llegan los alumnos al último curso de EE. MM., y lo que se requiere según las exigencias del temario oficial. Esa diferencia, por su misma magnitud, hace que sea imposible, para el alumno medio, aprender significativamente, en un solo curso, todo lo que se le pide. Hay que reducir el número de conceptos. Pero, en la medida en que se hace esto, se pierde visión de conjunto. Pareca, pues, inevitable el que, en los cursos elementales, el conocimiento de la disciplina sea fragmentario. En definitiva, lo más que se puede hacer en las circunstancias actuales, si se quiere ser realista, es conseguir una disminución del grado de fragmentación con que se presente la disciplina; en ningún caso se puede dar una visión de conjunto. Por otra parte, mientras más agrupados estén los conceptos, y más trabados entre sí, mayores son las posibilidades de que el alumno construya significativamente su propio esquema conceptual. El problema es que, al ser la Física una disciplina altamente estructurada, no resulta

fácil -ni quizás, posible- profundizar en una parte de ella, sin manejar conceptos procedentes de otras. De esta forma, la profundización, al interrelacionar varias partes de la Física, amplía, inevitablemente, los horizontes. En la práctica, la alternativa que se está discutiendo se reduce a elegir entre dos modalidades de fragmentación o presentación parcial de la disciplina: la primera, presentación menos parcial, pero con riesgo de fomentar el aprendizaje memorístico; la segunda, parcialización más acusada, pero con mayores oportunidades para el aprendizaje significativo. Las indudables ventajas del aprendizaje significativo sobre el memorístico, aconsejan optar por la segunda modalidad.

b) Los datos manifiestan, claramente, la poca eficacia de los esfuerzos conducentes a corregir aquellas concepciones equivocadas de los alumnos, que han sido descubiertas en las pruebas de examen. Por término medio, el cociente entre avances realizados y avances posibles es solamente 0.27. No basta explicar detenidamente al alumno, en grupo o individualmente, dónde están sus fallos, para que éste los corrija. El hecho no debe extrañar si se piensa que la corrección de ideas equivocadas es un proceso complejo que parece implicar un conflicto epistemológico en la mente del alumno. Las observaciones que le hace el profesor, a veces semanas después de haber dejado de trabajar en el tema, parecen insuficientes para desencadenar el proceso de corrección. Recuérdense, a este propósito, otros hechos observados: los conceptos menos conectados con otras partes

del temario, son los que presentan menos frecuencia de corrección en el caso de ser erróneos; mientras que las correcciones son más eficaces cuando se trata de conceptos que vuelven a trabajarse en clase, por estar conectados con otros temas. Todo esto sugiere sustituir el proceso de presentación lineal de temas, en el que los conceptos se agrupan en pequeños bloques unidos entre sí como las cuentas de un collar, por un proceso en espiral en el cual se abordan varias veces los conceptos de forma cíclica, teniendo siempre la oportunidad de reincidir en el mismo concepto, abordándolo desde perspectivas cada vez más amplias. Los temarios extensos se prestan poco a los procesos en espiral; requieren, más bien, un proceso lineal pues, el intento de someter la totalidad del temario a dos o tres ciclos de trabajo, a lo largo de un solo curso, degeneraría fácilmente en la atomización, al ser muchos los temas y tener que ser divididos. Por el contrario, si se opta por la intensidad, es posible realizar a lo largo del curso varios ciclos en el proceso de enseñanza y aprendizaje, habiendo posibilidades suficientes para que, en cada ciclo, sea posible el entramado de conceptos. En ciclos sucesivos, no sólo se ampliarían los entramados; sería posible, también, revisar su estructura al contemplarlos desde perspectivas diferentes.

c) Al intentar explicar la deficiente actuación de los alumnos en lo que respecta a su competencia terminológica, se indicó que, el temario vigente, con la extensión de que

se le ha dotado, no parece prestarse mucho a una fuerte jerarquización. Una selección de contenidos gobernada por lo que hemos llamado "opción por la intensidad" se prestaría, sin duda, mucho mejor a la jerarquización, al permitir agrupar todos los contenidos en tres o cuatro bloques jerárquicos (lo elemental del nivel parece hacer imposible la existencia de un bloque único si se tratan varios temas).

Eylon et al. (1988) señalan cómo convergen varias líneas de investigación en una sugerencia práctica: el recomendar la intensidad más que la extensión en los currícula de ciencias. A continuación, añaden: "La necesidad cognitiva de un tratamiento sistemático «en profundidad» de unos pocos temas científicos se compagina mal con el tratamiento convencional «en extensión» de muchos temas. Una manera de resolver este conflicto es elegir unos pocos conceptos centrales e importantes para tratarlos sistemáticamente, mientras se abordan los conceptos relativamente poco importantes con mucho menor detalle" (l.c. pg. 290).

4.5. Pautas para la selección de contenidos y secuenciación de contenidos temáticos

En términos generales, el criterio que se va a seguir al hacer las propuestas de selección y secuenciación de contenidos, es éste: dar preferencia a los bloques temáticos

que, al parecer, son más accesibles a los alumnos y ordenarlos según su aparente facilidad. Se toma como indicador de accesibilidad el grado de éxito obtenido en el aprendizaje, a juzgar por la calidad de sus respuestas.

Antes de entrar en detalles conviene advertir que las propuestas que se hacen en esta sección, no pasan del nivel de tentativas exploratorias. Además de las salvedades hechas en la sección 4.2., hay que tener en cuenta otra: la multiplicidad de fuentes del curriculum. En su diseño no sólo hay que atender a las indicaciones procedentes del campo de la psicología del aprendizaje y de la pedagogía; hay que coordinar todo esto con las exigencias mismas de la disciplina y con las demandas sociales. No sólo se trata de enseñar; hay que enseñar Física y, además, en la sociedad española de finales del siglo XX. Con estas salvedades, se proponen las siguientes sugerencias.

(i) El tema de la corriente continua parece ser el más accesible; pudiera constituir un bloque tratado, incluso, con más profundidad que la exigida actualmente. Puede parecer infundado el que se aconseje mayor profundidad, sin haber experimentado el comportamiento de los alumnos en niveles diferentes a los de la actual exigencia. Lo cierto es que, aunque sólo se han hecho observaciones sobre el desarrollo del tema, tal como existe actualmente en el programa, la soltura que han manifestado los alumnos en su tratamiento, tanto al asimilar los conceptos, como al

aplicarlos, o al corregirlos en caso de aprendizaje defectuoso, hace pensar que la profundización no presentaría mayores dificultades.

Quizás resulte extraño el que se recomiende el estudio de la corriente eléctrica antes de tratar el tema de los campos electrostáticos. El procedimiento es viable. Un texto tan aceptado como el de Bennet (1977) -dos ediciones, con tres reimpresiones cada una, en los cuatro años que siguen a su aparición- demuestra prácticamente la viabilidad.

(ii) Otro bloque recomendable es el del movimiento armónico simple. Teniendo en cuenta el porcentaje de aciertos y errores de los alumnos en sus exámenes, el tema de elasticidad parece ser ligeramente más accesible; sin embargo, la diferencia es muy pequeña, y el tema del movimiento armónico simple parece ofrecer mayores posibilidades a la docencia.

(iii) La importancia mayor concedida al tema de la corriente eléctrica, pudiera compensarse con una disminución notable de la que se concede a los temas de la Física moderna. Ciertamente es necesario que los alumnos vean algún caso en que se producen cambios radicales en las perspectivas científicas; sólo así, quizás, adquirirían sentido de la provisionalidad de las afirmaciones que hace la ciencia. Lo que ya es más dudoso es que los cambios rápidos y profundos que se operaron entre los últimos años del siglo pasado y las primeras décadas de éste, sea el caso

más adecuado para que los alumnos comprendan la necesidad y el dinamismo del cambio en las concepciones científicas. Es conveniente que los alumnos conozcan que se dieron los cambios; pero quizás estemos ante uno de los temas que los alumnos no comprenderían bien, si fuera tratado con mucho detalle.

(iv) En el estudio han aflorado con frecuencia las dificultades que encuentran los alumnos en el tratamiento del espacio tridimensional. Por esto mismo se proponen dos sugerencias: reducir algo la amplitud del tema de los campos y secuenciar, con el mayor cuidado, las cuestiones que exigen el manejo de las dimensiones espaciales. Como regla general pudiera establecerse el que, en un primer tratamiento, se estudiaran solamente situaciones susceptibles de ser representadas en un plano. Una vez que los alumnos hubieran adquirido cierta familiarización con este tipo de cuestiones -la segunda o tercera vez que se abordan temas de esta clase en un tratamiento cíclico-, puede utilizarse el espacio de tres dimensiones. En una línea análoga, la comprensión y tratamiento correcto del carácter vectorial de los campos, parece ofrecer mayores dificultades que la comprensión de la función potencial. Quizás sería conveniente empezar por este último concepto e introducir posteriormente, incluso a partir de él, las magnitudes de carácter vectorial.

(v) Se ha visto que la falta de competencia en el dominio de las Matemáticas, por muy lamentable que sea, es algo con lo que hay que contar. A la vista de las dificultades prácticas encontradas, en los intentos por remediar esta deficiencia, quizás sea lo más realista secuenciar los distintos aspectos de un tema determinado, según el grado de competencia matemática requerida para comprenderlo bien. El tratamiento cíclico permite abordar los mismos temas tras un intervalo de tiempo, pero en distintos niveles y desde distintas perspectivas. Pudieran tratarse algunos aspectos durante los primeros meses del curso y dejar para los últimos las cuestiones con mayores exigencias matemáticas; sobre todo las que requieren comprensión del cálculo integral. Desgraciadamente, este capítulo de las Matemáticas suele tratarse tardíamente en el último curso de EE.MM.. En todo caso, no deba olvidarse que emplear métodos de integración, sin que los alumnos hayan adquirido una comprensión mínima de lo que es integrar, favorecería aprendizajes memorísticos. En consecuencia con lo anterior, está fuera de lugar, para alumnos que no han comprendido lo que es integrar, estudiar temas como el valor del campo producido por una distribución continua de masa o carga.

4.6. Algunas sugerencias metodológicas

(i) La mayoría de los alumnos, 51.4%, afirma que les es más fácil la teoría que los problemas. Los resultados obtenidos en los exámenes son coherentes con esta afirmación; los alumnos obtienen calificaciones más altas en cuestiones relacionadas con competencia terminológica que en resolución de problemas: medias de 40.5% frente a 29.2% en el curso 87/88 y medias de 43.4% frente a 25.3% en el curso 88/89. Recuérdese, por otra parte, que la forma en que los alumnos tratan los problemas no es la más deseable y ofrece, además, resistencias al cambio. Una primera sugerencia es la de abordar los problemas convencionales de una forma creativa; además de ello, sería conveniente, también, introducir dos modalidades poco frecuentes: la presentación de problemas abiertos y la resolución sobre el terreno -en la mayoría de los casos sólo con aproximaciones aceptables- de problemas que aparecen en situaciones reales y al natural, no en enunciados estilizados. Esta última actividad requeriría mediciones, manipulaciones, tanteos, etc. y no sólo el uso de papel y lápiz; se insistiría en comparar los resultados que se pueden prever, utilizando teoría y cálculos, con los que realmente se consiguen después de manipular. Hay que reconocer, no obstante, que la sugerencia que acaba de hacerse, tendría muy poca aceptación si no cambian las pautas actuales del examen de selectividad.

(ii) Se ha comentado que hay alumnos que se limitan, exclusivamente, al estudio de sus apuntes, sin consultar ningún otro tipo de material escrito, y con resultados

globales peores que sus compañeros. Se sugiere emplear métodos que estimulen el abandono de esa práctica. Formulado en términos positivos: es conveniente incentivar a los alumnos para que amplíen sus consultas bibliográficas. Recuérdese, además, que se ha detectado una predisposición mejor hacia la asignatura entre los alumnos que leen libros o revistas de divulgación científica.

(iii) También se ha visto cómo los alumnos que trabajan de forma continuada, y no a saltos, suelen obtener resultados mejores. Una forma de estimular esta práctica puede ser el revisar, por parte del profesor, de forma diaria y continuada, el trabajo realizado por los alumnos; no el de todos, por supuesto, pero sí el de dos o tres elegidos diariamente al azar. Según esto, no sería recomendable la práctica de dejar al alumno habitualmente sin control de tipo alguno, limitándose el profesor a recoger la información espaciada que le proporcionan tres o cuatro exámenes a lo largo del curso.

(iv) Se ha visto, con plena evidencia, que la competencia terminológica de los alumnos es muy pequeña y que se dan con frecuencia oscilaciones en esa competencia. Por lo mismo, el profesor no puede dar por supuesto que los alumnos dominan bien los términos que él utiliza en sus explicaciones y comentarios. Una tarea a realizar sería el comprobar, de forma periódica y frecuente, hasta qué punto son bien interpretados los términos que se están usando al

trabajar un tema determinado. La comprobación pudiera convertirse en parte de la rutina diaria: antes de comenzar cualquier tipo de actividad en el aula, se pediría a algunos alumnos, elegidos al azar, que definieran los términos cuyo conocimiento es necesario para desarrollar bien la actividad que a continuación se va a proponer. Esto requiere, para ser bien ejecutado, que el profesor tenga una conciencia clara y explícita de las relaciones entre las distintas actividades de enseñanza y aprendizaje y las expresiones y conceptos, cuya comprensión es necesaria, para realizar satisfactoriamente cada una de ellas.

(v) El hecho de que un alumno defina, verbalmente con corrección, un concepto de la Física no es prueba inequívoca de que lo comprende perfectamente. Puede suceder que el alumno recuerde la verbalización de la definición y el significado, al menos superficial, de las palabras que utiliza, pero no aspectos fundamentales del concepto relacionados con el significado más profundo de los términos de la definición. Es posible, además, que el alumno sea capaz de explicar el concepto pero no de aplicarlo. Ejemplos de esto han aparecido a lo largo del trabajo. Es posible, finalmente, que el alumno maneje bien un concepto en el contexto determinado en que lo aprendió, pero no sepa abstraerlo del mismo. También se han visto varios ejemplos de incapacidad para utilizar bien los conceptos fuera de la situación en que fueron aprendidos. Como consecuencia de todo esto se sugiere que la comprobación de la competencia

terminológica no se limite sólo a constatar que el alumno verbaliza bien las definiciones. Los ejercicios numéricos o problemas son una prueba más segura, pues requieren para su solución el estar familiarizado con conceptos vistos previamente. Es aconsejable también que, una vez aprendido un concepto, se fomente la utilización y aplicación del mismo en contextos diferentes. Asimismo, y para asegurar mejor la abstracción de contextos concretos, es de aconsejar que, una vez aprendido un término, se ejerciten inmediatamente los alumnos en buscar las relaciones entre dicho término y otros aprendidos en contextos diferentes.

(vi) No se pueda dar por hecho el que los alumnos comprendan bien el significado de las representaciones gráficas. A veces les falta la capacidad de análisis que les lleve a identificar, con nitidez, el tipo de variables utilizadas; los aspectos formales de la representación les pueden acaparar la atención hasta perder de vista las magnitudes que son el objeto real de la representación. Es aconsejable, pues, que la presentación de cualquier gráfica vaya acompañada de un breve análisis, en el que se identifiquen bien sus elementos, y de un ejercicio de lectura para el que sea necesario tener en cuenta la escala. También se sugiere invitar a los alumnos a que expresen con frecuencia gráficamente, incluso de manera relativamente tosca, las relaciones entre las variables que son objeto de estudio.

(vii) La capacidad de generalizar, de utilizar en el estudio de temas nuevos los esquemas conceptuales adquiridos previamente en el estudio de temas análogos, parece ser bastante limitada. No se puede dar por supuesta. Es arriesgado, por ejemplo, pensar que los alumnos, sin más, van a utilizar el formalismo adquirido en el estudio del campo gravitatorio, para resolver los problemas que presenta el campo electrostático. Las generalizaciones se dan; y hay alumnos, sin duda, que las realizan en algunos casos. A pesar de ello se ha podido comprobar que la generalización no brota siempre espontáneamente; antes al contrario, parece ser que se trata de algo que necesita práctica y entrenamiento. Se sugiere, pues, por un lado, el que profesor no dé por supuesto que los alumnos van a ser capaces de generalizar; y, por otro, que se aprovechen las ocasiones en que es factible entrenar a los alumnos en la práctica de esta acción.

(viii) Se ha constatado que, en la formación habitual de los alumnos, se estimulan usos del lenguaje muy diferentes a lo que constituye la práctica científica. Sería un buen ejercicio de práctica interdisciplinar abordar el lenguaje, conjuntamente, desde los distintos seminarios didácticos. En este tratamiento podría hacerse una reflexión sobre lo que tiene el lenguaje de común, sea cual fuere el campo en que se utiliza, y las diferencias específicas que le impone el uso prescrito en las distintas comunidades disciplinares. Sería un buen servicio a la formación

integral del alumno el capacitarle bien para que distinguiera las variedades en el uso del lenguaje y las utilizara convenientemente.

(ix) El profesor, sobre todo si tiene preocupaciones didácticas y de renovación de la enseñanza, debe tener bien presente que las líneas maestras de su papel de profesor están socialmente dibujadas de forma un tanto difusa, al menos por lo que respecta a los alumnos. En consecuencia, las expectativas de éstos -que, como se ha puesto de manifiesto en el trabajo, son muy dispersas y heterogéneas- y, eventualmente, las de los padres, pueden chocar con lo que él mismo, como profesor, piensa que debe ser su forma de actuar. Con el fin de evitar conflictos innecesarios, sería conveniente que informara de vez en cuando, pero sobre todo en sus primeros contactos con los alumnos, acerca de lo que constituyen sus metas como profesor y de lo que considera debe ser la práctica docente adecuada. Esta información da pie a un diálogo que debería ser iniciado y continuado indefectiblemente; y transmite también, subliminalmente, rasgos de la imagen que tiene el profesor sobre la propia asignatura.

4.7. Condiciones de acceso para poder cursar la asignatura

(i) Los datos referentes a la competencia terminológica ponen de manifiesto dos hechos. El primero, que la gama de

variación de la competencia terminológica de los alumnos es excesivamente grande; tomando como referencia el número de items que deben ser conocidos al terminar el curso y el número de los que dicen los alumnos conocer a principios del mismo -corrigiendo éste, como se explica en su lugar- el espectro abarca entre el 4.9% de items que dice conocer el alumno en peores circunstancias, hasta el 41.8% del alumno en mejor situación. El segundo hecho es la inexistencia de un bloque considerable de términos que sean conocidos por todos los alumnos; concretamente, no hay ningún término, entre los 263, que sea conocido por todos y sólo hay 12 términos (4.6% del total) que sean conocidos por el 80% o más de los alumnos.

(ii) En las condiciones en que se efectúa la enseñanza en la actualidad, aunque se intente prestar atención individualizada a cada uno de los alumnos, muchos procesos que se dan en el aula son de carácter colectivo. Esta circunstancia no debe ser considerada sólo como consecuencia inevitable de limitaciones coyunturales; el aprendizaje tiene también una componente social que no puede, ni debe, ser ignorada. Si a las diferencias habituales de los alumnos de un curso, por lo que respecta a capacidades y habilidades, se añaden unas diferencias tan grandes en la situación inicial, como las señaladas en el párrafo anterior, puede llegarse a un grado tal de heterogeneidad, que carezca de sentido hablar de procesos grupales en los que estén implicados todos los alumnos del aula. O bien se

parte de niveles que fomentan el aburrimiento y la inactividad en los más avanzados, o bien se abandona a su suerte a un grupo de alumnos, los más atrasados, que están condenados al fracaso casi con toda seguridad.

(iii) Una forma de evitar los inconvenientes apuntados, pudiera consistir, en no permitir que cursaran la asignatura los alumnos que no hubieran cubierto un mínimo bien definido. La sugerencia puede parecer una trivialidad, si se supone que los alumnos han cubierto los mínimos al aprobar las asignaturas de los cursos anteriores; sin embargo, hay tres hechos que hacen ver que la situación no es tan simple. El primero es la normativa vigente, que permite a los alumnos cursar el último año de EE.MM., aunque tengan pendientes hasta dos asignaturas del curso anterior. Esta autorización posibilita el que cursen la Física, en el último año, alumnos que no satisfacen los mínimos más elementales. En el caso de los grupos A88 y B88 hubo una fracción considerable de este tipo de alumnos. El segundo hecho es que los mínimos no están estipulados, ni tampoco se ha llegado a un acuerdo entre profesores para establecerlos; esto hace posible que la definición práctica de lo que son mínimos, varíe de unos profesores a otros, y que el área de coincidencias entre todos quede reducida. El tercer hecho es la práctica, no infrecuente, de calificar de forma acumulativa. Por ejemplo, si un alumno contesta correctamente a cinco preguntas de un examen que tiene diez, todas ellas hipotéticamente con el mismo valor a efectos de

calificación, es muy probable que se le califique como aprobado. Las notas varían según el número de preguntas bien contestadas, pero no suele ser frecuente el que se exija responder, correctamente, a la totalidad de una parte determinada del examen, como condición necesaria y suficiente para conseguir el aprobado. Con otras palabras: los mínimos se establecen de forma cuantitativa -hace falta responder a tantas preguntas para aprobar el examen- quizás con más frecuencia que de forma cuantitativa -hace falta contestar tales preguntas para aprobar-. Mientras no se convenga en cuáles son los conocimientos mínimos y mientras no se establezca la necesidad de demostrar competencia sobrada en todos ellos, no se darán, probablemente, las condiciones para garantizar la heterogeneidad que permita llevar a cabo un proceso de enseñanza y aprendizaje, en grupo, en el que esté implicada la totalidad de la clase.

4.8. La selectividad

(i) Si algo ha quedado patente, en el trabajo de campo, es la influencia que ejerce la selectividad -o, para ser más precisos, el nivel de calificación que se desea obtener en selectividad- en el trabajo, motivaciones y expectativas de alumnos, padres y profesores. El alumno se juega la posibilidad de hacer la carrera que desea; los padres, el ver cumplidas las aspiraciones compartidas con los hijos; y el profesor, al menos en ciertos ambientes, su

reconocimiento social como profesional competente. Incluso el que consiga ser completamente independiente de lo que puedan pensar de él, tiene que plantearse un problema de carácter deontológico: ¿en qué medida está autorizado a organizar la enseñanza en una forma que no garantice, eficazmente, el éxito de los alumnos y los exponga al riesgo inevitable de frustraciones vocacionales?

(ii) La discusión sobre si es conveniente o no una prueba de selectividad cae fuera de los problemas investigados. Sin embargo, la información obtenida en el presente trabajo, permita hacer dos consideraciones como contribución a la discusión.

a) Es poco probable que cualquier propuesta de innovación en el diseño o desarrollo de proyectos didácticos tenga efecto, si no es percibida por alumnos y profesores como compatible con lo que exigen las pruebas de selectividad. Es más, cabe esperar que la innovación tendrá tanta mayor aceptación cuanto más se perciba como conducente a unos buenos resultados. Permítase insistir en el factor de subjetividad; no basta con que la innovación sea buena; es preciso que sea vista como tal pues es, al fin y al cabo, la percepción de asociación con el éxito lo que mueve sobre todo a los alumnos. Algunos ejemplos pueden ilustrar este punto.

Supongamos que un profesor intenta introducir en el proceso didáctico la práctica de que los alumnos comenten,

sistemáticamente, informes científicos -unas veces auténticos, tal como salieron de las manos de sus autores, otras modificados y adaptados a la capacidad de los alumnos- o informes supuestamente científicos, quizás con defectos, y elaborados para el caso. Supongamos que en ese comentario se pide responder de forma justificada a cuestiones tales como: identificación del razonamiento contenido en el texto y que permite progresar, desde la formulación de una hipótesis, hasta la delimitación de las consecuencias de esa hipótesis que van a ser sometidas a experimentación; motivos por los cuales se introducen determinados detalles en el método experimental; adecuación del diseño experimental a lo que busca comprobarse; relación entre los datos y las conclusiones a las que se llega; etc. El entrenamiento en este tipo de tareas es bastante formativo; no sólo introduce en una de las facetas del quehacer científico -la revisión crítica de lo que se ha publicado sobre un tema que se investiga- sino que ayuda, en general, a manejar, críticamente, las fuentes de información. Pues bien, es poco probable que los alumnos veán con agrado este tipo de actividad, sobre todo si es frecuente, mientras estén convencidos de que lo básico, para pasar airoosamente la selectividad, es haberse ejercitado mucho en la resolución de problemas al modo convencional. Supongamos también, por un momento, que en las pruebas de selectividad apareciera, de forma habitual, el comentario de textos científicos con las modalidades descritas anteriormente. La práctica de este

tipo de comentarios se introduciría inmediatamente en las aulas y serían los mismos alumnos quienes la pedirían, si es que el profesor no le hubiera concedido importancia.

Tampoco es lo mismo que los problemas que aparecen en los exámenes de selectividad sean del tipo convencional, para cuya solución se requiere la identificación rápida del tipo de problema y la aplicación de las fórmulas adecuadas, o sean más bien problemas de tipo abierto, cuyo tratamiento puede poner de relieve cómo se usan habilidades de orden superior. No es lo mismo, tampoco, un examen que puede ser contestado perfectamente por quienes no han entrado jamás en el laboratorio, que un examen que dejara en evidencia a quienes no están mínimamente familiarizados con las rutinas del trabajo experimental. Los datos permiten afirmar que tendría poca aceptación al organizar un curso a base de problemas abiertos, frecuente uso del laboratorio, llamadas continuas a la creatividad, etc., si los exámenes de selectividad no garantizan mayor éxito a quienes proceden así que a quienes usan el método, más expeditivo y económico, de transmisión de conocimientos elaborados.

b) Las oscilaciones en el conocimiento, comprobadas de forma consistente al estudiar la competencia terminológica de los alumnos, suponen una llamada de atención respecto a la práctica de dar, sobre la base de un solo examen, una nota que pueda tener bastante transcendencia en la vida de un ciudadano. Piénsese que, a veces, una centésima en la

nota de selectividad supone cerrar el acceso a la carrera que uno deseaba hacer. En el trabajo de campo se ha visto que alumnos que habían dado muestras de conocer un concepto determinado, y lo habían hecho así en dos ocasiones de examen, con un intervalo, a veces, de meses entre ellas, fallaban al llegar a una tercera prueba. ¿Conocían realmente esos alumnos el tema y padecieron un olvido eventual durante el tercer examen? ¿Tenían, por el contrario, solamente conocimientos memorísticos y la tercera prueba se encargó de poner de manifiesto esa realidad? En cualquier caso, ¿qué interpretación se puede dar a una calificación basada, exclusivamente, en esa tercera prueba? La cuestión es, sin duda, muy compleja.

4.9. Una última consideración

En los apartados anteriores se han explicitado algunas sugerencias que pueden ser útiles al diseñar el currículum y al trabajar con los alumnos en el aula. Todas ellas -así, al menos, se ha creído- están apoyadas por los datos obtenidos en el presente trabajo. Las sugerencias recogidas en este último capítulo son sólo las de mayor alcance. A lo largo del texto pueden encontrarse datos que avalarían sugerencias mucho más concretas. Igualmente, a lo largo del texto han quedado abiertas varias interrogantes a las que no ha sido posible dar respuesta sólo con el apoyo de los datos recogidos en este trabajo. Una interrogante que intriga es

el porqué de muchas diferencias observadas. Se ha visto, en efecto, que la competencia de los alumnos, tanto en la terminología como en lo que afecta a la resolución de problemas, varía considerablemente de unos temas a otros. Asimismo, en el campo de la competencia terminológica, la consistencia de algunos conocimientos -recuérdese lo dicho a propósito de los conceptos consolidados- varía también de un tema a otro. ¿Cuál puede ser la explicación? ¿Se deben esas diferencias a la estructura conceptual de los temas? ¿Se deben a las circunstancias personales de los alumnos? ¿Se deben a la forma en que se ha desarrollado el proceso de enseñanza y aprendizaje? ¿Se deben a una combinación de todos estos factores? El estudio ulterior de todas estas interrogantes ayudaría, sin duda, a resolver problemas pendientes en el terreno de la selección de contenidos y de métodos didácticos. Ayudaría, por supuesto, también, a resolver problemas relacionados con la preparación previa de los alumnos, fundamentalmente en EGB. Ayudaría, sobre todo, a detectar y remediar las posibles deficiencias en la preparación general de los docentes. No se olvide que, tanto la preparación previa de los alumnos como la formación general de los docentes, son condicionantes de la situación terminal de una etapa educativa como es la que aquí se ha estudiado.

5. AGRADECIMIENTOS

Presentar una tesis, sobre todo después de bastantes años de práctica docente, supone que son muchas las personas que, de una forma u otra, han aportado algo al trabajo del autor. Hay que estar agradecido a los miembros de la comunidad científica de los que uno aprende; y lo estoy. También he aprendido de los compañeros de trabajo y de los alumnos. Estos últimos, sobre todo, son quienes me han planteado con su conducta, éxitos y fracasos, los mayores interrogantes. Hay, sin embargo, personas cuyos nombres no pueden ser silenciados sin ser injustos.

Estoy muy agradecido, en primer lugar, al prof. Dr. Félix E. González. Él ha sido el director de la tesis y, en cuanto tal, merece un especial reconocimiento por mi parte. Pero no se trata solamente de esto. A él debo también el que me animara a emprender el trabajo. Quiero, finalmente, reconocerle algo que va más allá de lo estrictamente profesional: su exquisito trato humano.

Agradezco al prof. Dr. D. Antonio Fernández-Rañada la amabilidad con que accedió a mi petición de leer los manuscritos en diversas etapas de la elaboración y sus valiosas sugerencias.

Mi gratitud también para los profesores del tercer ciclo de la Universidad, para el centro Covadonga, donde se ha realizado el trabajo, y para mis alumnos de los cursos 1987/88 y 1988/89, que hicieron posible el trabajo de investigación.

►REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

¡NOTA: En las referencias bibliográficas que se dan a continuación se ha optado por incluir solamente a los autores mencionados en el trabajo y de quienes, casi siempre, se transcriben citas textuales.

- ABERNOT, Y. (1988).- Les méthodes de évaluation scolaire.- Bordas.- Paris.
- AGUIRRE DE CARCER, I. (1983).- Dificultades en la comprensión de las explicaciones de los libros de texto de Física.- Ens. de las Cienc., 1 (2), pp. 92-98.
- AGULLO-LOPEZ, F. (1988).- Física general: una nueva perspectiva.- Rev. esp. de Fis., 2 (3), pp. 26-27.
- ATKINSON, P., DELAMONT, S. y HAMMERSLEY, M. (1988).- Qualitative research traditions: a British response to Jacob.- Rev. Educ. Res., 58 (2), pp. 231-250.
- BENNET, G. A. G. (1972).- Electricity and modern Physics.- The English Language Book Society and Edward Arnold (Pub.).- Londres.
- BULLEJOS DE LA HIGUERA, J. (1983).- Análisis de actividades en textos de Física y Química en 2º de BUP.- Ens. de las Cien., 1 (3), pp. 147-157

- CARRASCOSA ALIS, J. (1983).- Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: selección bibliográfica.- Ens. de las Cien., 1 (1), pp. 63-65.
- CARRASCOSA ALIS, J. y GIL PEREZ, D. (1985).- La "metodología de la superficialidad" y el aprendizaje de las ciencias.- Ens. de las Cienc., 3 (2), pp. 113-120.
- COLL SALVADOR, C. (1986).- Diseño curricular. Bases psicológicas.- Cuadernos de Pedagogía, N°. 139, pp. 12-16.
- COLL SALVADOR, C. y SOLE, I. (1989).- Aprendizaje significativo y ayuda pedagógica.- Cuadernos de Pedagogía. N. 168, pp.16-20.
- DIBAR URE, C. y R.P. QUEIROZ, G. (1984).- Estudio del nivel operatorio de estudiantes universitarios.- Ens. de las Cienc. 2 (3), pp. 187-192.
- DRIVER, R. (1986).- Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos.- Ens. de las Cien., 4 (1), pp. 3-15.
- DRIVER, R. (1988).- Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias.- Ens. de las Cienc., 6 (2), pp. 109-120.
- DUPIN, J.J. y JOHNSUA, S. (1989).- Analogies and "modeling analogies" in teaching: Some examples in basic electricity.- Sci. Educ., 73 (2), pp. 207-224.
- DUSCHL, R. A. (1988).- Abandoning the scientific legacy of science education.- Scie. Educ., 72 (1), pp. 51-62.

- ESCUADERO MUÑOZ, J. M y GONZALEZ GONZALEZ, M^a T. (1984).- La renovación pedagógica: Algunos modelos teóricos y el papel del profesor.- Escuela Española.- Madrid.
- EYLLON, B. S. y LINN, M.C. (1988).- Learning and instruction: An examination of four research perspectives in Science Education.- Rev. Educ. Res., 58 (3), pp. 251-301.
- FAIRBROTHER, B. (1986).- Perspectives on the assessment of practical work.- Phys. Educ., 21, pp. 200-203.
- FENSHAM, P. J. (1983).- A research base for new objectives of science teaching.- Sci. Educ., 67 (1), pp. 3-12.
- FERNANDEZ PEREZ, M. (1986).- Evaluación y cambio educativo: El fracaso escolar.- Morata.- Madrid.
- FINEGOLD, M. y RAPHAEL, D. (1988).- Physics in Canadian secondary schools: Intentions, perceptions and achievement.- J. Res. in Sci. Teach., 25 (4), pp. 293-315.
- FISHLER, H. (1989).- Orientations of the actions of Physics teachers.- Int. J. Sci. Educ., 11 (2), 185-193.
- FOWLER, R. (1974).- Understanding language. An introduction to linguistics.- Routledge and Kegan Paul.- London.
- GARRET, R.M. (1988).- Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias.- Ens. de las Cien. 6 (3), pp. 224-230.
- GARRET, R.M. (1989).- Promoting creativity through problem-solving science curriculum.- School Sci. Rev., 70 (252), pp. 127-131.

- GIL PEREZ, D. (1983).- Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias.- *Ens. de las Cienc.*, 1 (1), pp.26-33
- GIL PEREZ, D. (1986).- La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas.- *Ens. de las Cienc.*, 4 (2), pp. 111-121.
- GIL PEREZ, D., MARTINEZ TORREGROSA, J. y SENENT PEREZ, F. (1988).- El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos.- *Ens. de las Cienc.* 6 (2), pp. 131-146.
- GIMENO SACRISTAN, J. (1986).- Formación de los profesores e innovación curricular.- *Cuad. de Pedagogía*. N°. 139, pp. 84-89.
- GUBA, E. G. (1985).- Criterios de credibilidad en la investigación naturalista.- En: GIMENO SACRISTAN, J. y PEREZ GOMEZ, A. (Edit.).- *La enseñanza: su teoría y su práctica*.- Akal,- Madrid.
- HAMMER, D. (1989).- Two approaches to learning physics.- *The Phys. Teach.*, Dec., 644-670.
- HOLTON, G. y BRUSH, S.G. (1984).- *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*.- Reverté.- Barcelona.
- HOWARD, R. (1989).- What is "understanding" in science teaching and how can it be promoted.- *School Sci. Rev.*, 70 (252), pp.116-119.
- HULSE, S.H., DEESE, J. y EGETH, H. (1977).- *The Psychology of learning*.- Mc Graw-Hill Kogakusha.- Tokyo.

- KITTEL, Ch. et al. (1984).- Mecánica. Berkeley Physics Course. Vol. 1.- Reverté.- Barcelona.
- KRAMERS-PAL, H. y PILOT, A. (1988).- Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research.- Int. J. Scie. Educ., 10 (5), pp. 511-521.
- KUHN, T.S. (1981).- La estructura de las revoluciones científicas.- Edic. F.C.E. España, Madrid.
- KUTNICK, P. J. (1990).- A social critique of cognitively based science curricula.- Scien. Educ., 74 (1), pp. 87-94.
- LEDERMAN, N. G. y O'MALLEY, M. (1990).- Students perceptions of tentativeness in science: development, use, and sources of change.- Sci. Educ., 74 (2), pp. 225-239.
- LINJSE, P.L., KORTLAND, K., EIJKELHOF, H.M.L., VAN GENDEREN, D. y HOOYMAYERS, H.P. (1990).- A thematic Physics curriculum: A balance between contradictory curriculum forces.- Scie. Educ., 74 (1), pp. 95-103.
- LOGAN, P.F. y BAILEY, D.E. (1989).- High-school Physics: any questions?.- Phys. Educ., 24, pp.30-35.
- LOPEZ RUPEREZ, P. y PALACIOS GOMEZ, C. (1988).- La exigencia cognitiva en Física básica.- Centro de Publicaciones del MEC. Madrid.
- LYTHCOTT, J. y DUSCHL, R. (1990).- Qualitative research: from methods to conclusions.- Sci. Educ., 74 (4), pp. 445-460.

- M.E.C. (1986).- Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza.-
(Instrucciones con fecha 30 de Junio de 1986, enviadas a los centros experimentales).
- M.E.C. (1987).- Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza.-
(Volumen mecanografiado y fotocopiado. Fecha: Julio, 1987).
- M.E.C. (1987).- Proyecto para la reforma de la enseñanza. Educación infantil, primaria, secundaria y profesional. Propuesta para debate. Centro de Publicaciones del M.E.C. Madrid.
- M.E.C. (1988).- Bachillerato de Ciencias de la Naturaleza.-
(Volumen mecanografiado y fotocopiado. Fecha: Enero, 1988).
- M.E.C.- DIRECCION GENERAL DE ENSEÑANZAS MEDIAS (1981).- Las Enseñanzas Medias en España.- Servicio de Publicaciones del M.E.C.- Madrid.
- M.E.C.- DIRECCION GENERAL DE ENSEÑANZAS MEDIAS (1983).- Hacia la reforma. Documentos de trabajo.
- M.E.C.- DIRECCION GENERAL DE ENSEÑANZAS MEDIAS (1985 a).- Cuadernos informativos. Propuesta de organización de la Enseñanza Media reglada postobligatoria.- Servicio de Publicaciones del M.E.C.- Madrid.
- M.E.C.- DIRECCION GENERAL DE ENSEÑANZAS MEDIAS (1985 b).- Cuadernos informativos. Propuesta de organización de la enseñanza media reglada postobligatoria.- Anexo III. Ciencias de la Naturaleza.- Servicio de Publicaciones del M.E.C. - Madrid.

- M.E.C.- DIRECCION GENERAL DE ENSEÑANZAS MEDIAS (1985 c).-
Hacia la Reforma. I. Documentos.- Servicio de
Publicaciones M.E.C.- Madrid.
- M.E.C.- EQUIPO DE APOYO PARA LA REFORMA DE LAS ENSEÑANZAS
MEDIAS (1985).- Hacia la Reforma. Documentos
complementarios I.
- MAHONEY, M.J. (1988).- Constructive meta-theory.- Int. J.
Personal Construct Psychol. 1, 1-36.- Citado por Watt y
Pope (1989).
- MASKILL, R. (1988).- Logical language, natural strategies
and the teaching of science.- Int. J. Sci. Educ., 10 (5),
pp. 485-495.
- MC TAGGART, R. (1983).- To understand science you need to
know more than science.- The Aust. Sci. Teach. Journ., 29
(3), pp. 7-14.
- MESTRE, J. y TOUGER, J. (1989).- Cognitive Research - What's
in it for physics teachers.- The Phys. Teach. (Sept.) pp.
447-456.
- MILES, B. M. y HUBERMAN, A. M. (1984).- Qualitative data
analysis. A sourcebook of new methods.- Sage
Publications. Beverly Hills.
- MOREIRA, M.A. y NOVAK, J.D. (1988).- Investigación en la
enseñanza de las ciencias en la universidad de Cornell:
Esquemas, cuestiones centrales y abordajes
metodológicos.- Ens. de las Cienc., 6 (1), pp. 3-18.
- NEWTON, D. P. (1987).- A framework for humanized Physics
teaching.- Phys. Educ., 22, pp. 85-90.

- NOVAK, J. D. (1977).- An alternative to piagetian psychology for science and mathematics education.- *Scie. Educ.*, 61 (4) pp. 453-477.
- NOVAK, J. D. (1982).- *Teoría y práctica de la educación.*- Alianza Editorial.- Madrid.
- NOVAK, J. D. (1988).- *Constructivismo humano: un consenso emergente.*- *Enseñanza de las Cien.*, 6 (3), pp. 213-223.
- NOVAK, J. D., GOWIN, D.B. y JOHANSEN, G. (1983).- The use of concept mapping and knowledge Vee mapping with Junior High School science students.- *Sci. Educ.*, 67 (5) pp. 625-645.
- PERALES PALACIOS, F.J. y CERVANTES MADRID, A. (1984).- Influencia del conocimiento del resultado numérico en la resolución de problemas.- *Ens. de las Cienc.*, 2 (2), pp. 97-101.
- PEREZ GOMEZ, A. (1985).- *Paradgimas contemporáneos de investigación didáctica.*- En: GIMENO SACRISTAN, J. y PEREZ GOMEZ, A. (Edit.).- *La enseñanza: su teoría y su práctica.*- Akal, Madrid.
- PETERS, P. C. (1982).- Even honors students have conceptual difficulties with physics.- *Am. Journ. of Phys.*, 50 (6), pp. 501-508.
- PIAGET J. (1975).- *Introducción a la epistemología genética.*
1. *El pensamiento matemático.*- Paidós.- Buenos Aires.
- PIAGET J. (1975b).- *Introducción a la epistemología genética.* 2. *El pensamiento físico.*- Paidós.- Buenos Aires.

- PIAGET, J. (1977).- *Biología y conocimiento.- Siglo veintiuno.- Madrid.*
- PIAGET, J. (1978).- *La equilibración de las estructuras cognitivas. Problema central del desarrollo.- Siglo veintiuno.- Madrid.*
- PIAGET, J. y INHELDER, B. (1978).- *Psicología del niño.- Morata.- Madrid.*
- PIZZINI, E. L., SHEPARDSON, D. P. y ABEL, S. K. (1989).- *A rationale for and the development of a problem solving model of instruction in science education.- Sci. Educ., 73 (5), pp. 523-534.*
- PREECE, P. F. W. (1988).- *A decade of research in Science Education.- The Sch. Sci. Rev., 69 (248), pp.579-586.*
- REICHARDT, Ch. S. y COOK, T. D. (1986).- *Hacia una superación del enfrentamiento entre los métodos cualitativos y los cuantitativos.- En: COOK, T. D. y REICHARDT, Ch. S. (Edit.).- Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa.- Morata. Madrid.*
- ROPER, J. (1989).- *Technology creates a new Physics Student.- The Phys. Teach., (Jan.), pp. 26-29*
- SEMINARIO PERMANENTE DE FISICA Y QUIMICA DEL I.C.E. DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA (1983).- *Hacia un nuevo curriculum de Física y Química para el Bachillerato: una consulta al profesorado.- Ens. de las Cien. 1 (2), pp.106-108.*

- SEMINARIO PERMANENTE DE FISICA Y QUIMICA DEL I.C.E. DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA (1984).- Criterios básicos para la elaboración de un curriculum de Física y Química.- Ens. de las Cienc., 2 (2), pp. 103-110.
- SERPPELL, R. (1976).- Culture's influence on behaviour.- Methuen.- Londres.
- SHIPSTONE, D.M., RHÖNECK, C.V., KÄRRQVIST, C., DUPIN, J.J., JOHSUA, S. Y LICHT, P. (1988).- A study of student's understanding of electricity in five European countries.- Int. J. Sci. Educ., 10 (3), pp.303-316.
- SIEGLER, R. S. (1983).- How knowledge influences learning.- Amer. Scient., 71 (6) pp. 631-638.
- SOLIS VILLA, R. (1984).- Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias.- Ens. de las Cienc., 2 (2), pp. 83-39.
- STENHOUSE, L. (1987).- La investigación como base de la enseñanza.- Morata.- Madrid.
- STOETZEL, J. (1966).- La Psicología social.- Marfil.- Alcoy.
- STRUBE, P. (1989).- A content analysis of arguments and explanations presented to students in physical science textbooks: a model and an exmple.- Int. J. Sci. Educ., 11 (2), pp.195-202
- SWAIN, J. R. L. (1985).- Towards a framework for assessment in science.- Sch. Sci. Rev., (Sept), pp. 145-151.
- TANNER, D. y TANNER, L. N. (1980).- Curriculum Development. Theory into Practice.- Macmillan Publishing Co.- New York.

- TAYLOR, S. J. y BOGDAN, R. (1986).- Introducción a los métodos cualitativos de investigación.- Paidós.- Buenos Aires.
- TIBERGHIEU, A. (1983).- La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas.- *Ens. de las Cienc.* 1 (3), pp. 187-192.
- TIPLER (1984).- Física.- Reverté.- Barcelona
- TOBIN, K. Y FRASER, B. J. (1990).- What does it mean to be an exemplary Science Teacher.- *J. Res. Sci. Teach.*, 27 (1), pp. 3-25.
- TOBIN, K., DEACON, J. Y FRASER, B. J. (1989).- An investigation of exemplary physics teaching.- *The Phys. Teach.*, March, 144-150.
- VALLS, E. (1989).- Los procedimientos. Su concreción en el área de historia.- *Cuad. de Pedagogía*, N° 168, pp. 33-36.
- VEGA (de) M. (1984).- Introducción a la psicología cognitiva.- Alianza Editorial.- Madrid.
- VERA BLANCO, J.J. (1986).- El ciclo polivalente en los países de la O.C.D.E. Tendencias e interrogantes.- *Revista de Educación*, 279, pp. 189-196.
- VERA, J. J. (1984).- Estudio del péndulo en 2º de BUP. - *Boletín de Acción Educativa*, n.27, pp. 35-38.
- WATTS, M. y POPE, M. (1989).- Thinking about thinking, learning about learning: constructivism in physics education.- *Phys. Educ.* 24, pp. 326-331.

- WELCH, W. W. (1985).- Research in science education: review and recommendations.- *Scie. Educ.*, 69 (3), pp. 421-448.- Citado por Preece (1988).
- WILLSON, W.L. (1990).- Methodological limitations for the use of experts systems techniques in science education research.- *J. of Res. in Sci. Teach.*, 27 (1), pp.69-77.
- WOODS, P. (1987).- *La escuela por dentro. La etnografía en la investigación educativa.*- Paidós-MEC.- Barcelona.

ANEXO IEncuesta pasada a los alumnos a principios de curso

1. Datos de identificación: nombre, apellidos y fecha de nacimiento.
2. Calificaciones obtenidas en Física y Matemáticas, así como la calificación global obtenida en todos los cursos comprendidos entre 7º de EGB y 3º de BUP. (Esta cuestión se eliminó al pasar la encuesta al comienzo del curso 88/89).
3. La asignatura de Física:
 - 3.1. Está entre las que más me gustan.
 - 3.2. Está entre las que menos me gustan.
 - 3.3. Ocupa un lugar intermedio.
 - 3.4. La encuentro difícil.
 - 3.5. La encuentro fácil.
 - 3.6. La encuentro con dificultad normal.
4. A contestar sólo por los que tienen una opción profesional clara.
 - 4.1. Veo la Física como parte esencial de mi trabajo en el futuro.
 - 4.2. Creo que voy a necesitar la ayuda de la Física en mi trabajo futuro.
 - 4.3. Aunque no me sea necesaria, creo que la Física puede serme útil en el futuro.

4.4. Veo poca relación entre la Física y mi trabajo futuro.

5. A contestar por quienes no han hecho aún la opción.

5.1. Creo que el conocimiento de la Física me va a ayudar a elegir bien mi futuro.

5.2. Creo que el estudio de la Física me va a servir de poco para aclararme.

5.3. No tengo datos para responder razonadamente a las cuestiones anteriores.

6. Algunas pautas de trabajo relacionadas con la Física.

6.1. La mayoría de los trabajos (informes y solución de problemas) los hago en equipo.

6.2. Normalmente trabajo mejor en solitario.

6.3. Me limito sólo a los apuntes.

6.4. Además de los apuntes sigo un libro de texto.

6.5. Lo ordinario, en mi forma de trabajar, es consultar varios libros de referencia.

6.6. Leo libros o revistas de divulgación sobre Física.

6.7. Llevo al día la asignatura.

6.8. Me suelo sentir con seguridad en la asignatura y sé cuándo tengo bien hechas las cosas.

6.9. Me es mucho más fácil aprender conceptos y demostraciones que resolver problemas.

6.10. Me ocurre justo lo contrario de lo anterior.

6.11. Encuentro igualmente difíciles (fáciles) ambas cosas.

6.12. Me organizo bien el trabajo de laboratorio.

7. Sugerencias para el profesor.

7.1. Lo que crees más importante en el profesor de Física.

7.2. Lo que crees debe evitar a toda costa el profesor de Física.

 DATOS RELATIVOS A LA ENCUESTA INICIAL

1. Población

	curso 87/88		curso 88/89		Global
	A87	B87	A88	B88	
Población	29	30	32	35	126
Responden	28	28	31	35	122
% resp.	96.6	93.3	96.9	100.0	96.8

2. Porcentaje de alumnos para cada opción de la encuesta

Opción	curso 87/88		curso 88/89		Global
	A87	B87	A88	B88	
3.1.	48.3	30.0	37.5	22.9	34.1
3.2.	0.0	6.7	9.4	11.4	7.1
3.3.	48.3	50.0	46.9	45.7	47.6
3.4.	41.4	63.3	68.8	71.4	61.9
3.5.	3.4	0.0	3.1	0.0	1.6
3.6.	41.4	30.0	15.6	25.7	27.8
4.1.	24.1	0.0	21.9	8.6	13.5
4.2.	27.6	23.3	34.4	37.1	31.0
4.3.	3.4	40.0	3.1	22.9	17.5

4.4.	3.4	6.7	9.4	17.1	9.5
5.1.	24.1	3.3	9.4	5.7	10.3
5.2.	3.4	13.3	3.1	0.0	4.8
5.3.	6.9	10.0	12.5	8.6	9.5
6.1.	34.5	20.0	21.9	14.3	22.2
6.2.	55.2	60.0	56.3	45.7	54.0
6.3.	13.8	3.3	12.5	11.4	10.3
6.4.	44.8	36.7	50.0	57.1	47.6
6.5.	41.4	50.0	43.8	37.1	42.9
6.6.	24.1	13.3	21.9	14.3	18.3
6.7.	51.7	56.7	53.1	40.0	50.0
6.8.	31.0	16.7	31.3	17.1	23.8
6.9.	41.4	33.3	28.1	68.6	43.7
6.10.	3.4	16.7	12.5	11.4	11.1
6.11.	48.3	26.7	34.4	14.3	30.2
6.12.	48.3	36.7	21.9	48.6	38.9

Los porcentajes de la tabla anterior están tomados con relación al número total de alumnos (en el respectivo grupo o en toda la población) y no con relación al número de alumnos que contestan a la encuesta.

ANEXO II

Lista de términos y conceptos que se supone deben ser conocidos por los alumnos al terminar sus estudios de Física en el nivel de las Enseñanzas Medias.

-
- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Acción y reacción (principio) | 2. Aceleración |
| 3. Aceleración angular | 4. Aceleración centrípeta |
| 5. Aceleración instantánea | 6. Aceleración media |
| 7. Aceleración tangencial | 8. Aislante |
| 9. Amortiguamiento | 10. Amperímetro |
| 11. Amperio | 12. Amplitud de un m.a.s. |
| 13. Análisis dimensional | 14. Angulo crítico |
| 15. Anión | 16. Atomo |
| 17. Balanza de torsión | 18. Bobina |
| 19. Caballo de vapor | 20. Caída libre |
| 21. Calor | 22. Caloría |
| 23. Campo | 24. Campo eléctrico |
| 25. Campo gravitatorio | 26. Campo magnético |
| 27. Cantidad de movimiento | 28. Capacidad de un condensador |
| 29. Carga | 30. Cation |
| 31. Conservación de la cantidad de movimiento | 32. Conservación de la energía |
| 33. Conservación del momento angular | 34. Centro de gravedad |
| 35. Ciclo | 36. Ciclotrón |
| 37. Cifra significativa | 38. Circuito |
| 39. Cizalladura (módulo) | 40. Cizalladura (fuerza) |

- | | |
|---|--|
| 41. Coeficiente de rozamiento estático | 42. Coeficiente de rozamiento dinámico. |
| 43. Compresibilidad | 44. Componente de un vector |
| 45. Condensador | 46. Condiciones iniciales |
| 47. Conductor | 48. Constante de fuerza de un muelle |
| 49. Constante de gravitación universal | 50. Constante de permeabilidad magnética en el vacío |
| 51. Constante de permitividad en el vacío | 52. Coordenadas |
| 53. Corriente alterna | 54. Corriente continua |
| 55. Cosecante | 56. Coseno |
| 57. Cotangente | 58. Cristal |
| 59. Cuerpo rígido | 60. Culombio |
| 61. Deformación | 62. Densidad |
| 63. Densidad de carga | 64. Densidad lineal |
| 65. Densidad superficial | 66. Derivada |
| 67. Descarga | 68. Desintegración |
| 69. Despreciable (cantidad) | 70. Diamagnetismo |
| 71. Dieléctrico | 72. Diferencia de potencial |
| 73. Diferencial | 74. Difracción |
| 75. Dimensión | 76. Dinamómetro |
| 77. Dipolo eléctrico | 78. Dipolo magnético |
| 79. Dispersión de la luz | 80. Dominio magnético |
| 81. Efecto Compton | 82. Efecto fotoeléctrico |
| 83. Efecto Joule | 84. Electrón |
| 85. Electronvoltio | 86. Energía |
| 87. Energía cinética | 88. Energía de ionización |

- | | |
|---|------------------------------------|
| 89. Energía mecánica | 90. Energía potencial |
| 91. Energía potencial elástica | 92. Energía potencial gravitatoria |
| 93. Enlace covalente | 94. Enlace iónico |
| 95. Enlace metálico | 96. Enlace polar |
| 97. Equilibrio | 98. Escala centígrada |
| 99. Escala Kelvin | 100. Espectro |
| 101. Espectrógrafo de masas | 102. Faradio |
| 103. Fase (movimiento armónico simple). | 104. Ferromagnetismo |
| 105. Fisión nuclear | 106. Fluido |
| 107. Flujo eléctrico | 108. Flujo magnético |
| 109. Fotón | 110. Frecuencia |
| 111. Frecuencia (mov. circular) | 112. Frente de onda |
| 113. Fuente luminosa puntual | 114. Fuente luminosa coherente. |
| 115. Fuerza | 116. Fuerza conservativa |
| 117. Fuerza contraelectromotriz | 118. Fuerza electrostática |
| 119. Fuerza electromotriz | 120. Fuerza gravitatoria |
| 121. Fuerza de Lorentz | 122. Fuerza magnética |
| 123. Fuerza de reacción | 124. Función |
| 125. Fusión de un sólido | 126. Fusión nuclear |
| 127. Fusión (punto de) | 128. Galvanómetro |
| 129. Gas | 130. Gauss (unidad) |
| 131. Grado Kelvin | 132. Gravedad (aceleración) |
| 133. Gravitación universal | 134. Herzio |
| 135. Histéresis | 136. Imán |
| 137. Impulso de una fuerza | 138. Índice de refracción |
| 139. Inducción | 140. Inercia |

- | | |
|---|--|
| 141. Integral definida | 142. Integrar |
| 143. Intensidad de la corriente eléctrica | 144. Interferencia |
| 145. Ión | 146. Irreversibilidad |
| 147. Julio | 148. Kilogramo |
| 149. Kilopondio | 150. Kilowatio |
| 151. Kilowatio.hora | 152. Láser |
| 153. Ley física | 154. Líneas de fuerza |
| 155. Longitud de onda | 156. Luz monocromática |
| 157. Luz polarizada | 158. Magnitud escalar |
| 159. Magnitud vectorial | 160. Masa |
| 161. Metal | 162. Metro |
| 163. Micra | 164. Módulo de Young |
| 165. Módulo de un vector | 166. Momento angular |
| 167. Momento de una fuerza | 168. Mov. armónico simple |
| 169. Movimiento ondulatorio | 170. Movimiento oscilatorio |
| 171. Movimiento periódico | 172. Newton |
| 173. Nodo | 174. Normal (geométrica) |
| 175. Notación científica | 176. Núcleo |
| 177. Número de Avogadro | 178. Número de onda |
| 179. Ohmio | 180. Onda electromagnética |
| 181. Onda estacionaria | 182. Onda longitudinal |
| 183. Onda luminosa | 184. Onda mecánica |
| 185. Onda plana | 186. Onda sonora |
| 187. Onda transversal | 188. Orden de magnitud |
| 189. Oscilación | 190. Oscilador |
| 191. Par de fuerzas | 192. Paralelo (resistencias o condensadores) |

- | | |
|--------------------------------|---|
| 193. Paramagnetismo | 194. Partícula |
| 195. Partícula alfa | 196. Patrón |
| 197. Péndulo simple | 198. Pendiente |
| 199. Período | 200. Peso |
| 201. Peso aparente | 202. Potencia |
| 203. Potencial eléctrico | 204. Potencial gravitatorio |
| 205. Presión | 206. Producto escalar |
| 207. Producto vectorial | 208. Protón |
| 209. Pulso (o pulsación) | 210. Radiación alfa |
| 211. Radiación beta | 212. Radiación gamma |
| 213. Radián | 214. Rayo |
| 215. Reflexión (ondas) | 216. Refracción (ondas) |
| 217. Rendimiento | 218. Resistencia |
| 219. Resistividad | 220. Rotación |
| 221. Rozamiento | 222. Satélite |
| 223. Secante | 224. Sección transversal |
| 225. Sección longitudinal | 226. Segundo |
| 227. Semiconductor | 228. Seno |
| 229. Sentido | 230. Serie (resistencias o condensadores) |
| 231. Sistema de partículas | 232. Sistema de referencia |
| 233. Sistema de unidades | 234. Solenoide |
| 235. Spin | 236. Superfic. equipotencial |
| 237. Superposición (principio) | 238. Tangente trigonométrica |
| 239. Tangente geométrica | 240. Temperatura |
| 241. Tensión | 242. Termómetro |
| 243. Torsión | 244. Trabajo |
| 245. Trayectoria | 246. Tesla |

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 247. Traslación | 248. Tren de ondas |
| 249. Vector | 250. Vector de posición |
| 251. Vector unitario | 252. Velocidad angular |
| 253. Velocidad de escape | 254. Velocidad de fase |
| 255. Velocidad instantánea | 256. Velocidad media |
| 257. Velocidad de propagación | 258. Vibración |
| 259. Vientre | 260. Voltímetro |
| 261. Voltio | 262. Watio |
| 263. Weber | |

ANEXO III

CUESTIONES PROPUESTAS A LOS ALUMNOS EN LOS DIVERSOS EXAMENES

NOTA: Cada cuestión va precedida por un número de referencia, que es el que se utiliza en el texto principal. Además, después del enunciado de cada cuestión, hay un paréntesis en el que figuran, respectivamente, la referencia a la evaluación en que aparece la cuestión, y el porcentaje de alumnos que responden correctamente, incorrectamente, o no responden a ella. Los porcentajes están tomados con relación a los alumnos que escriben el examen en la evaluación indicada. A veces, el número de respuestas a la cuestión concreta va seguido de un asterisco. Con esta notación se indica que, alguna o algunas de las respuestas tomadas como correctas, tienen ligeros errores de cálculo o incorporan algún valor que ha sido calculado erróneamente en otra cuestión del examen.

PARTE I: CUESTIONES PROPUESTAS A LOS GRUPOS A87 Y B87

Las respuestas recibidas fueron 59 en la primera evaluación, 58 en la segunda, 56 en la tercera, 53 en la cuarta y 30 en la prueba de suficiencia.

- 1.- Relacionar la frecuencia angular y el período en un movimiento armónico simple (1a. eval., 88.1, 8.6, 3.3)
- 2.- Relacionar la constante de recuperación de una tira de goma y su módulo de Young (1a. eval., 54.2, 35.6, 10.2).
- 3.- Relacionar la amplitud y la elongación en un movimiento armónico simple (1a. eval., 45.8, 44.0, 10.2).
- 4.- Relacionar la amplitud de las oscilaciones y la frecuencia en un muelle de masa despreciable, uno de cuyos extremos esté fijo y el otro adherido a una masa

determinada que tiene un movimiento oscilatorio (1a. eval., 16.9, 69.5, 13.6).

- 5.- Un material elástico, cuyas dimensiones y módulo de cizalladura son conocidos, está en posición vertical sujeto por un extremo. Se suspende una masa conocida del otro extremo y se pide calcular la deformación (1a. eval., 25.4, 74.6, 0.0).
- 6.- Dado un péndulo simple, cuyas oscilaciones son pequeñas y cuyo período se conoce, se pide calcular la longitud del hilo (1a. eval., 56.0*, 23.7, 20.3).
- 7.- Se pregunta si es preciso tener en cuenta el lugar donde se mide el período para dar una respuesta más precisa a la cuestión 6 (1a. eval., 16.9, 52.6, 30.5).
- 8.- Se ofrece una descripción verbal y un diseño gráfico esquemático de un sistema no visto en clase, que puede oscilar con movimiento armónico simple, y se pide expresar, en lenguaje matemático, las condiciones descritas en lenguaje ordinario (1a. eval., 1.7, 67.8, 30.5).
- 9.- Se pide, para la situación descrita en la cuestión 8, una expresión matemática del movimiento oscilatorio del sistema (1a. eval., 1.7, 67.8, 30.5).
- 10.- Se presenta un sistema consistente en un bloque que puede deslizar sin rozamiento por un plano horizontal. El bloque está unido al extremo de un muelle de masa despreciable cuyo otro extremo está fijo. El sistema es análogo a otros vistos anteriormente en clase. Se pide

- prever el comportamiento del sistema después de haber producido una elongación del muelle, al estirar del bloque. Se pide también una previsión suponiendo que existiera rozamiento (2a. eval., 20.6, 62.2, 17.2).
- 11.- Se describe, verbalmente, una situación en que se producen interferencias en una cuerda que vibra. Se pide explicar las consecuencias que se derivan, de esa situación, para las distintas partículas de la cuerda (2a. eval., 10.3, 69.0, 20.7).
- 12.- Para el sistema descrito en la cuestión 10, se da el valor de la constante del muelle y la masa del bloque. Se pide calcular el período de las oscilaciones (2a. eval., 27.6, 31.0, 41.4).
- 13.- Dado el sistema descrito en la cuestión 10, se pregunta por las modificaciones que hay que introducir, sin alterar el muelle, para que el período de las oscilaciones se reduzca a la mitad (2a. eval., 8.6, 44.8, 46.6).
- 14.- Una onda transversal, cuya velocidad de propagación y longitud de onda son conocidas, se propaga en un medio físico. Se da la desviación máxima, a partir del punto de equilibrio, que experimentan las partículas del medio y se pide una expresión matemática para esa onda (2a. eval., 18.9*, 70.8, 10.3).
- 15.- Dada la situación descrita en la cuestión 14, se pide calcular la velocidad máxima que experimentan las partículas (2a. eval., 18.9*, 63.9, 17.2).

- 16.- Dada la situación descrita en la cuestión 14, se piden las condiciones para que la aceleración de una partícula sea nula (2a. eval., 13.8*, 65.5, 20.7).
- 17.- Se dan dos masas que pueden considerarse puntuales y la posición de las mismas en un espacio tridimensional. Se pide el valor del campo gravitatorio creado por estas masas en un punto, P, dado (2a. eval., 0.0, 72.4, 27.6).
- 18.- Dada una masa puntual conocida y su posición en un espacio tridimensional, se pide calcular el valor del potencial asociado al campo creado por ella, en un punto dado, P, tomando como cero el valor del potencial en el infinito (2a. eval., 0.0, 67.4, 32.6).
- 19.- En las condiciones descritas en la cuestión 17, se pide calcular la energía necesaria para trasladar una masa conocida desde un punto dado, P, hasta otro en que sea «prácticamente nulo» el campo creado por el conjunto de masas dado (2a. eval., 0.0, 53.4, 46.6).
- 20.- Suponiendo que la Luna describe una órbita circular en 28 días y dada la masa de la Tierra, se pide calcular la velocidad de la Luna y su distancia a la Tierra (2a. eval., 15.5*, 56.9, 27.6).
- 21.- Dada una masa conocida, se pide calcular la energía necesaria para trasladarla desde el nivel del mar hasta un punto, P, por encima de dicho nivel y cuya distancia al mismo es del orden del radio de la Tierra. Entre los datos figura la masa de la Tierra y su radio (2a. eval., 13.8, 55.2, 31.0).

- 22.- Se pide calcular la energía necesaria para que un satélite de masa conocida llegue a su órbita, supuesta circular, y permanezca en ella. Se ignoran los rozamientos y se hace referencia sólo a la energía mecánica (2a. eval., 8.6, 60.4, 31.0).
- 23.- Dadas cuatro cargas puntuales conocidas, situadas en los cuatro vértices de un rectángulo de dimensiones dadas, se pide calcular el valor del campo creado por las mismas en el punto medio de la base del rectángulo (3a. eval., 21.4, 66.1, 12.5).
- 24.- En las condiciones de la cuestión 23, se pide calcular el valor del potencial eléctrico en el punto dado, suponiendo cero el valor del potencial en el infinito (3a. eval., 25.0, 58.9, 16,1).
- 25.- Calcular la energía almacenada por una configuración de cargas puntuales, conocidas, situadas en unas posiciones determinadas (3a. eval., 3.6, 53.5, 42.9).
- 26.- Indicar qué tipo de campo eléctrico se necesita para que la fuerza que éste ejerce, sobre un protón, sea capaz de compensar la fuerza gravitatoria ejercida sobre el mismo en la superficie de la Tierra (3a. eval., 51.8, 23.2, 25.0).
- 27.- Se da un péndulo simple; son conocidas la longitud, la masa suspendida en su extremo libre y la diferencia de alturas entre la posición de equilibrio y la posición en que la velocidad de la masa es nula. Se pide calcular la velocidad máxima de ésta (3a. eval., 26.8, 26.8, 46.4).

- 28.- En la situación descrita en la cuestión 27, se pide calcular el período del péndulo (3a. eval., 44.6, 23.3, 32.1).
- 29.- En la situación descrita en la cuestión 27, se pide discutir los efectos que produciría, en el período del péndulo, el hecho de que se produjera un cambio en la masa (3a. eval., 37.5, 21.4, 41.1).
- 30.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 27, se pide escribir la función matemática que exprese, adecuadamente, el movimiento del péndulo (3a. eval., 8.9, 48.2, 42.9).
- 31.- Calcular la energía necesaria para trasladar una masa conocida desde la superficie de la Tierra hasta un punto, P, situado a una distancia, d, por encima de ésta; d es del orden del radio de la Tierra. Se da información sobre el valor de éste, la masa de la Tierra y el valor de G (3a. eval., 16.1, 62.5, 21.4).
- 32.- Se da un circuito sencillo, con varias resistencias, unas en serie y otras en paralelo, y con varios generadores, sin que coincida el sentido de los polos de los mismos. Se pide calcular la resistencia equivalente para un tramo en el que hay resistencias en serie y en paralelo (4a. eval., 86.8, 5.7, 7.5).
- 33.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 32, se pide calcular la corriente que atraviesa la sección transversal, en un lugar determinado del circuito (4a. eval., 62.3, 30.2, 7.5).

- 34.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 32, se pide calcular la corriente que pasa por una resistencia que está conectada en paralelo con otras (4a. eval., 43.4, 39.6, 17.0).
- 35.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 32, se pide calcular la potencia disipada en una resistencia determinada (4a. eval., 69.8, 20.8, 9.4).
- 36.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 32, se pide calcular la energía -cedida o absorbida, según la polaridad - por un generador en la unidad de tiempo (4a. eval., 47.2, 39.6, 13.2).
- 37.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 32, se pide calcular la diferencia de potencial entre dos puntos separados por dos resistencias en paralelo (4a. eval., 54.7, 35.9, 9.4).
- 38.- Se da un circuito compuesto por varios condensadores de capacidad conocida, conectados unos en paralelo y otros en serie; se da también el valor de la tensión entre los terminales del circuito. Se pide calcular la capacidad equivalente (4a. eval., 56.6., 34.0, 9.4).
- 39.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 38, se pide calcular la carga almacenada en un condensador conectado en serie (4a. eval., 13.2, 77.4, 9.4).
- 40.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 38, se pide calcular la carga almacenada en un

condensador conectado en paralelo (4a. eval., 13.2, 69.8, 17.0).

- 41.- Un bloque de masa conocida se desliza con, velocidad constante y conocida, por un plano horizontal, sin rozamiento, y choca frontalmente contra un muelle, fijo por el extremo opuesto al del impacto, y queda enganchado en él, sin que se pierda energía en la operación. Se conoce la constante, k , del muelle y se supone que la masa de éste es despreciable. Se pide calcular la distancia recorrida por el bloque desde que entra en contacto con el muelle hasta que se anula por primera vez su velocidad (4a. eval., 34.0, 39.6, 26.4).
- 42.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 41, se pide calcular la fuerza recuperadora del muelle, cuando la velocidad del bloque es nula (4a. eval., 34.0, 33.9, 32.1).
- 43.- Con referencia a la cuestión descrita en la cuestión 41, se pide calcular la frecuencia con que oscila el sistema (4a. eval., 45.3, 28.3, 26.4).
- 44.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 41, se pide escribir la ecuación del movimiento del sistema (4a. eval., 22.6, 45.3, 32.1).
- 45.- Una onda se propaga por un medio físico con una velocidad de propagación dada; se conocen también la frecuencia con que vibran las partículas del medio y su recorrido. Se pide una expresión matemática que

- represente este movimiento ondulatorio (4a. eval., 18.9, 62.2, 18.9).
- 46.- Se da una tira elástica de dimensiones conocidas. Un extremo está fijo y del otro se suspende una masa dada. Se tiene el valor del alargamiento producido. Se pide calcular la tensión normal en la tira (suf., 40.0, 56.7, 3.3).
- 47.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 46, se pide calcular el módulo de Young para la tira (suf., 43.3, 53.4, 3.3).
- 48.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 46, se pide calcular la constante de recuperación (suf., 50.0, 46.7, 3.3).
- 49.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 46, se pide discutir qué efecto tendría, en el valor del módulo de Young, el hecho de disminuir el valor de la masa suspendida (suf., 10.0, 86.7, 3.3).
- 50.- Se colocan dos cargas puntuales, conocidas, en los vértices de un triángulo equilátero cuyo lado es conocido. Se pide calcular el valor del campo eléctrico en el vértice restante (suf., 3.3, 76.7, 20.0).
- 51.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 50, y suponiendo que no hay más cargas en el espacio, se pide calcular la energía necesaria para llevar otra carga puntual, de valor conocido, al vértice libre (suf., 6.7, 56.6, 36.7).

- 52.- Se pide calcular la energía almacenada por una configuración de carga, compuesta por tres cargas puntuales de valor conocido, situadas en los tres vértices de un triángulo equilátero, del que se conoce el valor de un lado (suf., 6.7, 46.6., 46.6).
- 53.- Se pide calcular la energía necesaria para llevar un satélite, desde la superficie de la Tierra, a un punto de la órbita del mismo. Se ignoran pérdidas por rozamientos, etc. y se da un radio de la órbita que es, aproximadamente, el doble del de la Tierra (suf., 23.3, 63.4, 13.3).
- 54.- Calcular la energía cinética de un satélite que gira alrededor de la Tierra en una órbita, supuestamente circular, de radio conocido (suf., 23.3, 50.0, 26.7).
- 55.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 54, se pide calcular el número de revoluciones que daría diariamente el satélite (suf., 13.3., 46.7, 40.0)
- 56.- Dado un circuito como el descrito en la cuestión 32, se pide calcular la resistencia equivalente para tres resistencias en paralelo (suf., 76.7, 20.0, 3.3)
- 57.- Dado el circuito de la cuestión 56, se pide calcular la intensidad de la corriente que pasa por una resistencia determinada, conectada en serie con el resto de los componentes del circuito (suf., 60.0, 36.7, 3.3).
- 58.- Dado el circuito de la cuestión 56, se pide calcular la energía disipada en una resistencia que está en paralelo con otra resistencia (suf., 33.3, 60.0, 6.7)

PARTE II: CUESTIONES PROPUESTAS A LOS GRUPOS A88 Y B88

Durante el curso 88/89 hubo solamente tres evaluaciones y una prueba de suficiencia. Las respuestas recibidas en los distintos exámenes fueron: 64 en la 1a evaluación, 62 en la 2a., 55 en la 3a. y 44 en la prueba de suficiencia.

- 1.- Relacionar el módulo de Young y la constante de la ley de Hooke (1a. eval., 12.5, 76.6, 10.9).
- 2.- Dado un sistema oscilante, compuesto por un bloque adherido al extremo de un muelle de masa despreciable y con el otro extremo fijo, se pide relacionar el desplazamiento máximo del bloque y su velocidad al pasar por el punto de equilibrio (1a. eval., 12.5, 76.6, 10.9).
- 3.- Dado el sistema de la cuestión 2, se pide relacionar la frecuencia y la amplitud de las oscilaciones (1a. eval., 20.3, 67.2, 12.5).
- 4.- Se da el valor de las dimensiones de una cinta de aluminio y el módulo de Young para este metal. La cinta está suspendida de uno de sus extremos y del otro se cuelga una masa. Se pide calcular la tensión normal (1a. eval., 39.1, 54.6, 6.3).
- 5.- En la situación de la cuestión 4 se pide calcular la elongación de la cinta (1a. eval., 39.1, 54.6, 6.3).
- 6.- Un bloque simétrico y homogéneo, de masa conocida, puede deslizar, sin rozamiento, por un plano horizontal y está enganchado al extremo de un muelle, de masa despreciable, cuyo otro extremo está fijo en una pared. Se da un

- diagrama. El bloque recibe el impacto de un proyectil cuya velocidad es conocida, aunque no su masa. Se pide calcular el desplazamiento del bloque, algo que, obviamente, tendrá que darse en función de la masa del proyectil. Se indica, además, que la mitad de la energía cinética del proyectil se disipa en forma de calor (1a. eval., 1.6, 65.6, 32.8).
- 7.- En la situación descrita en la cuestión 6, se pide el tiempo que tardará el bloque en detenerse por efecto de la amortiguación (1a. eval., 1.6, 65.6, 32.8).
- 8.- Dada la situación de la cuestión 6, se pide describir el proceso subsiguiente que experimentaría el sistema (1a. eval., 28.1, 37.5, 34.4).
- 9.- Se supone que una onda armónica se propaga a lo largo de una cuerda de gran longitud. Se ofrecen datos para calcular la tensión y densidad lineal de la cuerda, así como la frecuencia con que oscilan las partículas y el recorrido de las mismas. Se pide calcular la velocidad de propagación de la onda (1a. eval., 54.7, 28.1, 17.2).
- 10.- Para la situación descrita en la cuestión 9 se pide calcular la longitud de onda (1a. eval., 40.6, 39.1, 20.3).
- 11.- Para la situación descrita en la cuestión 9, y dadas unas condiciones iniciales, se pide escribir la ecuación de la onda (1a. eval., 4.7, 71.9, 23.4).
- 12.- Con referencia a la situación descrita en la cuestión 9, se pide calcular la velocidad máxima que

- experimentarán las partículas de la cuerda (1a. eval., 4.7, 62.5, 32.8).
- 13.- Con referencia a la situación decrita en las cuestiones 9 y 11, se pide calcular la posición de una partícula determinada de la cuerda, dados t y x (1a. eval., 20.3*, 53.1, 26.6).
- 14.- Se pide relacionar los conceptos de diferencia de potencial y energía (2a. eval., 30.6, 38.8, 30.6).
- 15.- Se pide relacionar la masa de la Tierra y el período de la Luna, suponiendo que ésta describe una órbita circular en torno a aquélla (2a. eval., 37.1, 29.0, 33.9).
- 16.- Se pide relacionar la deformación de un muelle y su módulo de cizalladura (2a. eval., 4.8, 46.8, 48.4).
- 17.- Se pide relacionar la velocidad con que se propaga una onda en un medio material y la velocidad con que se mueven las partículas del mismo (2a. eval., 4.8, 40.4, 54.8).
- 18.- Se dan el radio y la densidad de un planeta hipotético, homogéneo y esférico. Se pide calcular el valor del campo gravitatorio en la superficie del planeta (2a. eval., 74.2*, 16.1, 9.7).
- 19.- Con las condiciones descritas en la cuestión 18, se pide calcular el valor del campo gravitatorio en un punto interior del planeta, por debajo de su superficie (2a. eval., 43.5*, 45.2, 11.3).
- 20.- Con las condiciones descritas en la cuestión 18, se pide calcular el valor del potencial gravitatorio en la

superficie del planeta, suponiendo que es cero en el infinito (2a. eval., 54.8*, 35.5, 9.7).

21. Con las condiciones descritas en la cuestión 18, se pide calcular la velocidad de escape (2a. eval., 46.8*, 32.2, 21.0).
- 22.- Se da un sistema compuesto por cuatro masas, que pueden considerarse como puntuales, situadas en los cuatro vértices de un rectángulo de dimensiones conocidas. Se pide el valor del campo gravitatorio en el punto medio de la base del rectángulo (2a. eval., 21.0, 58.0, 21.0).
- 23.- Se pide calcular el valor del potencial, suponiendo que es cero en el infinito, para el sistema y punto indicados en la cuestión 22 (2a. eval., 12.9, 61.3, 25.8).
- 24.- Dado el sistema descrito en la cuestión 22, se pide calcular la energía necesaria para trasladar una masa desde el punto medio de la base hasta el punto homólogo, situado en el lado opuesto (2a. eval., 8.1, 66.1, 25.8).
- 25.- Dado el sistema descrito en la cuestión 22, se pide calcular la energía necesaria para trasladar una masa dada, desde el punto medio de la base hasta el centro del rectángulo (2a. eval., 11.3, 59.7, 29.0).
- 26.- Se da una varilla, con forma de media circunferencia, en la que la carga eléctrica se distribuye de forma continua. Se describe la distribución y se pide hallar el valor del campo eléctrico en el centro de la circunferencia de la que forma parte la varilla (2a. eval., 0.0, 43.5, 56.5).

- 27.- Dada la situación descrita en la cuestión 26, se pide calcular la fuerza que experimentaría una carga positiva dada, situada en el mencionado centro (2a. eval., 0.0, 43.5, 56.5).
- 28.- Se da el diagrama de un circuito sencillo en el que figuran resistencias en paralelo y en serie, así como varios generadores en serie, sin que tengan todos la polaridad en el mismo sentido. Se pide calcular la resistencia equivalente, para una parte del circuito en la que hay un bloque de tres resistencias en paralelo conectado en serie a otra resistencia (3a. eval., 65.5, 29.0, 5.5).
- 29.- Se pide calcular la intensidad de la corriente en el circuito del que se habla en la cuestión 28 (3a. eval., 20.0, 60.0, 20.0).
- 30.- Dado el circuito descrito en la cuestión 28, se pide calcular la intensidad de la corriente que pasa por una resistencia que está en paralelo con otra (3a. eval., 10.9, 63.6, 25.5).
- 31.- Dado el circuito descrito en la cuestión 28, se pide calcular la potencia disipada en una resistencia determinada (3a. eval., 14.5, 49.1, 16.4).
- 32.- Dado el circuito descrito en la cuestión 28, se pide calcular la energía, transferida o absorbida, por un determinado generador (3a. eval., 5.5, 50.9, 43.6).
- 33.- Dado el circuito descrito en la cuestión 28, se pide calcular la diferencia de potencial entre dos puntos del

- circuito entre los que se encuentra un bloque de resistencias en paralelo (3a. eval., 18.2, 45.4, 36.4).
- 34.- Se da un circuito en el que se encuentra un bloque de dos condensadores en paralelo, conectado en serie con otros condensadores; se da también la diferencia de potencial entre los terminales del circuito. Se pide calcular la capacidad equivalente (3a. eval., 41.8, 47.3, 10.9).
- 35.- Dado el circuito descrito en la cuestión 34, se pide calcular la carga almacenada por uno de los condensadores en serie (3a. eval., 5.5, 81.8, 12.7).
- 36.- Dado el circuito descrito en la cuestión 34, se pide calcular la carga almacenada por uno de los condensadores en paralelo (3a. eval., 1.8, 83.7, 14.5).
- 37.- Se da un péndulo simple, la longitud del hilo, el valor de la masa, supuesta puntual y en el extremo de éste, y la velocidad con que la masa puntual parte del punto de equilibrio. Se pide calcular la altura máxima, sobre el punto de equilibrio, que alcanzará la masa (3a. eval., 9.1*, 21.8, 69.1).
- 38.- Dadas las condiciones descritas en la cuestión 37, se pide calcular la amplitud del péndulo (3a. eval., 0.0, 27.3, 72.7).
- 39.- Dadas las condiciones descritas en la cuestión 37, se pide calcular la frecuencia de las oscilaciones (3a. eval., 16.4*, 30.9, 52.7).

- 40.- Dada la situación descrita en la cuestión 37 y unas condiciones iniciales, se pide calcular la posición de la masa al cabo de un tiempo, t (3a. eval., 9.1*, 20.), 70.9).
- 41.- Dada una onda transversal que se propaga por un medio material, su velocidad de propagación, la frecuencia de las vibraciones y el recorrido de las partículas del medio, se pide escribir una expresión matemática correspondiente a ese movimiento ondulatorio (3a. eval., 0.0, 45.5, 54.5).
- 42.- Se da un material elástico en forma de tira de dimensiones conocidas y se da también el alargamiento, muy pequeño comparado con las dimensiones del material; cuando se suspende la tira por uno de sus extremos y se cuelga una masa conocida en el otro, se pide calcular la tensión normal debida a la suspensión de la masa (suf., 31.8*, 63.7, 4.5).
- 43.- En la situación descrita en la cuestión 42, se pide calcular el módulo de Young (suf., 72.7*, 25.0, 2.3).
- 44.- En la situación descrita en la cuestión 42, se pide calcular la constante de recuperación (suf., 47.7*, 34.1, 18.2).
- 45.- En la situación descrita en la cuestión 42, se pide indicar el efecto que tendría, en el valor del módulo de Young, el hecho de cambiar la masa suspendida (suf., 25.0, 70.5, 4.5).

- 46.- Se dan dos cargas eléctricas puntuales, situadas en dos vértices de un triángulo equilátero de dimensiones conocidas. Se pide calcular el valor del campo eléctrico en el otro vértice del triángulo (suf., 6.8*, 86.4, 6.8).
- 47.- En las condiciones descritas en la cuestión 46, se pide calcular la energía necesaria para trasladar una carga determinada, desde el infinito, hasta el tercer vértice del triángulo (suf., 27.3, 45.4, 27.3).
- 48.- Suponiendo que hay tres cargas puntuales en los tres vértices de un triángulo equilátero, se pide calcular la energía almacenada por esa configuración de carga (suf., 13.6, 27.3, 59.1).
- 49.- Se pide calcular la energía necesaria para trasladar un satélite, desde la superficie de la Tierra, a un punto de la órbita del satélite; el diámetro de ésta es considerablemente mayor que el de la Tierra (suf., 38.6, 50.0, 11.4).
- 50.- Se da el radio de la órbita de un satélite, que no experimenta más fuerzas que la gravitatoria debida a la Tierra, y se pide calcular la velocidad con que se mueve el satélite (suf., 4.5, 59.1, 36.4).
- 51.- Se da el diagrama de un circuito en el que hay dos bloques de resistencias en paralelo, conectadas en serie entre sí, con otras resistencias y con generadores. El sentido de la polaridad de éstos no es el mismo. Se pide calcular la resistencia equivalente a los dos bloques en

- paralelo y conectados en serie entre sí (suf., 81.8, 18.2, 0.0).
- 52.- Dado el circuito descrito en la cuestión 51, se pide calcular la intensidad de la corriente (suf., 52.3*, 45.4, 2.3).
- 53.- Dado el circuito de la cuestión 51, se pide calcular la potencia disipada en una resistencia determinada (suf., 70.5*, 25.0, 4.5)
- 54.- Dado el circuito de la cuestión 51, se pide calcular la potencia (absorbida o cedida) en un generador determinado (suf., 29.5*, 47.8, 22.7).
- 55.- Dada una expresión matemática, que representa un movimiento ondulatorio, se pide calcular la longitud de onda de dicho movimiento (suf., 36.4*, 38.6, 25.0).
- 56.- Dada la expresión que se menciona en la cuestión 55, se pide calcular la velocidad de propagación de la onda (suf., 20.5*, 47.7, 31.8).

